

**Untersuchungen über
Geschlechtsentwicklung, Wachstum
und Skelettreifung bei Knaben**

Alfred Schindler

1960



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555206_0082

AUS DER CHIRURGISCHEN KLINIK DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Direktor: Professor Dr. R. Zenker

SPORTMEDIZINISCHE ABTEILUNG

Leiter: Professor Dr. M. Pöschl

**Untersuchungen über
Geschlechtsentwicklung, Wachstum
und Skelettreifung bei Knaben**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und

einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Alfred Schindler

aus Pirmasens

München 1960

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Referent:	Professor Dr. M. PÖSCHL
Correferent:	Professor Dr. R. ZENKER
Dekan:	Professor Dr. Dr. H. EYER

Tag der mündlichen Prüfung: 8. 11. 1960



INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Einleitung	5
Grundlagen	
Pubertät und innere Sekretion	10
Hormonelle Steuerung des Pubertätsablaufs	10
Wachstum und Skelettreifung	14
Das Handröntgenbild als Indikator der Skelettentwicklung	19
Grössenentwicklung der Handwurzelknochen	20
Formveränderungen	21
Differenzierung der Sesambeine	22
Die säkulare Akzeleration der Pubertätsentwicklung	25
Eigene Untersuchungen	
Material und Methoden	28
Das Untersuchungsmaterial	28
Somatoskopische Entwicklungsdiagnose	28
Grösse und Gewicht	32
Die Röntgenaufnahme und ihre Auswertung	32
Ergebnisse	35
Stand der Geschlechtsentwicklung	38
Wachstumsverhältnisse	42
Stand der Skelettreifung	43
Handwurzelabmessungen	43
Aufbereitung des Ergebnisses der Knochenmessungen	46
Beurteilung der Formveränderungen	47
Sesambeine	49
Vergleich der untersuchten Entwicklungserscheinungen	52
Zusammenfassung	58
Literaturverzeichnis	62

EINLEITUNG

Die medizinische Forschung zeigte in den letzten Jahrzehnten wachsendes Interesse für die Pubertätsentwicklung, während dieser Lebensabschnitt früher offenbar wegen seiner kleinen Morbiditäts- und Mortalitätsziffer wenig beachtet worden war. Die Beobachtung deutlicher Veränderungen der Reifungsvorgänge, vor allem einer stärkeren Beschleunigung seit circa 1920, lenkte die Aufmerksamkeit auf den "gesunden" jugendlichen Menschen. Man stellte fest, dass mit der somatischen auch die psychische Reifung betroffen, dass nicht nur der Ablauf, sondern auch das Endergebnis verschoben ist und dass die Veränderungen sich auf die Disposition für die verschiedensten Erkrankungen auswirken. Die Biologen betrachten dieses Phänomen "Akzeleration" nicht immer optimistisch. Um so mehr gab es Anlass zur Untersuchung der Entwicklungsvorgänge mit dem Ziele einer alle Gebiete umgreifenden Anthropologie des jugendlichen Menschen (107).

Das Wachstum ist als messbarer Vorgang gut zu verfolgen. Es ist aber nur ein kleiner Ausschnitt aus dem Gesamtgeschehen der Pubertätsentwicklung und hat sich als Indikator für deren Stand nicht bewährt. Die grosse Anzahl der Normentabellen, die schon für Grösse und Gewicht aufgestellt wurde, zeigt, wie orts- und zeitgebunden die Wachstumsverhältnisse sind. Als sichtbare Zeichen der Geschlechtsentwicklung können die Veränderungen der primären und zahlreichen sekundären Geschlechtsmerkmale beobachtet werden. Man macht davon bei der somatoskopischen Entwicklungsdiagnose Gebrauch (Zeller 107, 108, 109, Schmidt-Voigt 77, 78, 79, Bober und Scholz 12). Mittels der Röntgenstrahlen sind die Reifungserscheinungen am Skelettsystem zu verfolgen. Die meisten mir bekannten Arbeiten beschäftigen sich mit dem Alter, in dem an der Hand noch neue Knochenkerne auftreten. Sie berücksichtigen also die Zeit der Pubertät nicht oder nur am Rande (Munk 58, Kornfeld 44, Stettner 90, 91, 92, 93, Schmid 75). Man versuchte schliesslich in neuerer Zeit auch die Hormone der Keimdrüsen, denen in der Pubertät eine zentrale Bedeutung zukommt, quantitativ zu bestimmen (Schwenk und Schwenk 81).

Die verschiedenen Erscheinungen der Pubertät können miteinander verglichen werden. So sind Zusammenhänge zwischen Längenwachstum und Geschlechtsentwicklung (Wülfing 106, Hoppe 37, Stifter 94) sowie zwischen Längenwachstum und Ossifikation (Lenz 53, Schmid 75, Kornfeld 44) festgestellt worden. Anlässlich einer Untersuchung der Zusammenhänge zwischen der Akzeleration der Geschlechtsentwicklung und dem Haltungsverfall der Jugendlichen hier in München (Michaelis 57) tauchte die Frage auf nach den Zusammenhängen zwischen Ossifikationsstand und Entwicklungstempo.

Der gesetzmässige Ablauf der Entwicklung des Gesamtorganismus und der Skelettentwicklung ist in der Erbmasse verankert und wird postfetal vom endokrinen System gesteuert. Die Verteilung der Entwicklungspotenzen, die aus beiden entwicklungsbestimmten Faktoren resultieren, ist bei normalem Ablauf so aufeinander abgestimmt, dass dem jeweiligen Entwicklungsstand ein eng umschriebener Ossifikationsstand entspricht (Schmid 75). Welche Beziehungen bestehen aber zu den Varianten der Norm, zur akzelerierten und retardierten Geschlechtsentwicklung?

Wenn die Ossifikation einen bestimmten Stand erreicht hat, kommt das Wachstum durch den Schluss der Epiphysen zum Stillstand. Je früher die normale Pubertät oder eine der pathologischen Pubertätsformen auftritt, um so kürzer ist die gesamte Wachstumsdauer und um so kleiner ist die endgültig erreichte Körpergrösse (Prader 64). Wir finden diese Verhältnisse z. B. bei der Pubertas praecox dem Musterbeispiel der pathologisch verfrühten Geschlechtsentwicklung. Dabei geht also anscheinend die Skelettreifung der Geschlechtsentwicklung parallel. Bei den verschiedenen nicht pathologischen Formen der Pubertätsentwicklung, der Früh- und Spätentwicklung handelt es sich in erster Linie ebenfalls um eine Verlegung des Beginns der Pubertät (12). Hier stellte man aber im Widerspruch zu den pathologischen Pubertätsformen fest, dass die Frühentwickler, die "Akzelerierten" im Endergebnis grösser und die "Retardierten" kleiner sind als die Normalen. Das lässt sich zunächst nicht mit einem Zusammenhang zwischen Geschlechts- und Skelettentwicklung vereinbaren. Um der Beantwortung der Frage nach dem Verhalten der Knochenreifung bei den verschiedenen Formen der Pubertätsentwicklung näher zu kommen, wird man nach den Kräften suchen, die die Entwicklungsvorgänge steuern. Da alle Reifungsvorgänge in der Pubertät vom innersekretorischen System beeinflusst werden, wird man von der Wirkungsweise der bekannten Hormone manchen Zusammenhang erklären können. Am sichersten wird jedoch nur der unentbehrliche Vergleich der Reifungserscheinungen am Jugendlichen selbst Aufschluss über die Verhältnisse geben können. Es fehlt noch an ausreichenden Kenntnissen über die Zuordnung zwischen äusserem Erscheinungsbild der Entwicklung und Röntgenaufnahmen von der Entwicklung des Skeletts (Zeller 109).

Das Motiv der vorliegenden Arbeit ist die Frage nach den Beziehungen der Skelettentwicklung zu anderen Erscheinungen der somatischen Reifung bei verschiedenem Tempo der Pubertätsentwicklung. Es wird zunächst meine Aufgabe sein, die bisherigen Erkenntnisse der hormonellen Zusammenhänge in der Pubertät darzulegen und zu versuchen, sie zu einem einheitlichen Bild zusammenzustellen. An Hand eigener Untersuchungen werde ich in der Lage sein, in 42 Fällen die Geschlechtsentwicklung, die Wachstumsverhältnisse und die Skelettreifung miteinander zu vergleichen. Entsprechend dem Umfang des Materials sind keine allgemein gültigen Durchschnittszahlen zu erwarten. Es genügt für diese Arbeit, wenn gewisse Tendenzen aufgezeigt werden können, was uns ermöglicht, zu verschiedenen Ansichten Stellung zu nehmen.

Ich danke allen, die mich bei meiner Arbeit unterstützt haben: An erster Stelle Herrn Professor Dr. M. Pöschl, der mir dieses wichtige und interessante Thema zur Bearbeitung anvertraute; dem stellvertretenden Leiter der Klenze-Oberrealschule München, Oberstudienrat Kafler, der mir freundlicherweise die Schüler für meine Untersuchungen zur Verfügung stellte; Herrn Gymn. Oberlehrer F. Rabenstein und Herrn Studprof. Dr. H. Buomann für die entgegenkommende Unterstützung bei der Auswahl der Knaben; dem Personal der Röntgenabteilung bei der chir. Universitätsklinik München für die Hilfe bei den Untersuchungen sowie den Eltern der Schüler für ihr Einverständnis. Die Arbeit wurde durch Mittel des Deutschen Sportbundes unterstützt.

GRUNDLAGEN

PUBERTÄT UND INNERE SEKRETION

Hormonelle Steuerung des Pubertätsablaufs

Grundlegend ist für die Erforschung der Reifungsvorgänge in der Pubertät die Erkenntnis, dass alle feststellbaren Veränderungen durch endokrine Vorgänge bedingt sind. Erst ein genaues Bild vom Zusammenspiel der hormonellen Wirkkräfte wird es ermöglichen, die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Reifungserscheinungen verstehen zu können. In diesem Kapitel will ich versuchen die hormonelle Steuerung der Pubertät nach dem heutigen Stand der Forschung zu verfolgen, soweit sie für die vorliegende Arbeit von Wichtigkeit ist.

Der Beginn der Geschlechtsreife ist individuell verschieden, Variationen sollen durch konstitutionell-genetische Faktoren bedingt sein (Bennholdt-Thomsen 10 u.a.) Zu einem gewissen Zeitpunkt wird die Pubertätsentwicklung ausgelöst, wahrscheinlich primär durch ein Versiegen der hemmenden Einflüsse der Zirbeldrüse auf ein bestimmtes Zentrum im Hypothalamus (Fanconi 21). Im Tierversuch konnte die Notwendigkeit des tuber cinereum für das Zustandekommen der Geschlechtsreifung eindeutig festgestellt werden, woraus auf das Vorhandensein eines diencephalen Geschlechtszentrums auf dem Boden des dritten Ventrikels geschlossen wurde (Bustamente, Spatz, Weisschedel 14). Die anatomisch und physiologisch engen Beziehungen des Hypothalamus zur Hypophyse erlauben die Annahme, dass von hier aus Impulse an die Hypophyse gehen, die die hormonelle Aktivität dieser zentral gestellten Drüse anregen. Über die gonadotropen Hormone des Hypophysenvorderlappens, wird die Reifung der Gonaden ausgelöst. Diese Gonadotropine lassen sich trennen in das follikelstimulierende Hormon (FSH) und das luteinisierende Hormon (LH), welches identisch ist mit dem interstitialzell-stimulierenden Hormon (ICSH). Unter dem Einfluss des FSH geht beim Mädchen die Reifung der Ovarialfollikel und die Produktion von Östrogenen vonstatten. Beim Knaben bringt es die Entwicklung der tubuli seminiferi und die Spermiogenese in Gang und erhält sie. Wahrscheinlich etwas später erfolgt die Sekretion des LH (ICSH), welches beim Mädchen die Ovulation stimuliert und beim Knaben die Androgensekretion in den Leydigischen Zwischenzellen anregt (Simpson 87). Die Sexualhormone, die für die Reifungsvorgänge in erster Linie verantwortlich sind, stammen hauptsächlich aus den Gonaden. Die verstärkte Gewichtszunahme der Nebennieren in der Pubertät (Prader 64) weist aber darauf hin, dass neben den Gonaden auch die Nebennierenrinde an der Bildung dieser Sexualhormone beteiligt ist. Die Beobachtung, dass sowohl der Gonaden- wie auch der Nebennierenrindenausfall die 17-Ketosteroid- und Androgenausscheidung beim Erwachsenen senkt, dass diese Ausscheidung aber beim Hypophysenausfall und beim gesunden Kind noch niedriger ist, lässt sich nur durch eine in der Pubertät auftretende Androgenproduktion der

Nebennierenrinde erklären. Welcher Wirkstoff die Androgenproduktion in der Nebennierenrinde fördert, ist umstritten. Es handelt sich entweder um eines der bekannten Gonadotropine, oder um einen besonderen hypophysären Faktor, ein zweites ACTH (Labhart 46). Die Androgene werden also beim Jungen in der Nebennierenrinde und in den Testes, beim Mädchen nur in der Nebennierenrinde produziert. Wahrscheinlich handelt es sich dabei um eine ganze Gruppe von Steroiden mit verschiedenen Wirkungen, die in ihrer Gesamtheit beim Mann als Reifemerkmale bekannt sind, während sie bei der Frau nur für einen Teil der Reifemerkmale verantwortlich sind. Die Testisandrogene bewirken gesteigerte Vaskularisierung der Penishaut und Scrotalhaut, Zunahme der Prostatagrösse, Peniswachstum, Pubesbehaarung, Vergrößerung des Larynx, Stimmbruch, vermehrte Talgdrüsensekretion, Pubertätswachstumsschub (Schwenk und Schwenk 81) und Skelettreifung (Talbot und Sobel 97). Die Androgene der Nebennierenrinde wirken beim Knaben mehr auf die Körperbehaarung, Axillarbehaarung, Muskelentwicklung, Pigmentierung bestimmter Organbezirke, vielleicht auch auf die Reifung von Penis und Scrotum (Zeller 109), und ebenfalls auf die Skelettreifung. Die Stoffwechselprodukte der Androgene werden als 17-Keto-Steroide ausgeschieden und können als solche im Urin quantitativ bestimmt werden (81), was für die Diagnostik der Pubertätsentwicklung neue Möglichkeiten bringt. Die Schilddrüse ist ebenfalls am inkretorischen Geschehen der Pubertät beteiligt. Der Pubertätskropf, die Steigerung des Grundumsatzes und die häufigen Schweissausbrüche weisen auf ihre gesteigerte Funktion hin (Biedl 11). Man nimmt an, dass eine Hypersekretion des thyreotropen Hormons des Hypophysenvorderlappens diese Vorgänge auslöst (Zeller 109), analog der Aktivierung der Keimdrüsen durch die Gonadotropine. Das thyreotrope Hormon (TTH) fördert das Wachstum der Schilddrüse, die Ausschwemmung ihrer Hormone und alle ihre Partialfunktionen. Die Schilddrüsenhormone begünstigen das Wachstum, die Reifung, den Kohlenhydrat-, Eiweiß- und Fettstoffwechsel, die Oxydationsvorgänge im Gesamtorganismus (46). Ohne Schilddrüsenhormon kann die vollständige Erwachsenengrösse und -form nicht erreicht werden. Der Einfluss auf die Reifung macht sich im besonderen am Skelett geltend. Die Wirkungsweise und der Angriffspunkt der Schilddrüsenhormone sind noch nicht bekannt. Das Hypophysen - Wachstumshormon, auch somatotropes Hormon (STH) genannt, regt in spezifischer Weise das Wachstum des Skeletts, der inneren Organe, der Zähne, der Muskulatur und der Haut an und zwar wirkt es direkt und spezifisch. Im Gegensatz zu den anderen oben angeführten Hormonen des Hypophysenvorderlappens, die indirekt über die Schaltstation einer Drüse oder durch die Vermittlung eines anderen Empfängerorgans wirken, greift das STH direkt steuernd in das Wachstum ein. Es übt keinen stimulierenden Einfluss auf die endokrinen Drüsen aus und ruft die spezifischen Wirkungen auf das Wachstum auch dann hervor, wenn die Schilddrüse, die Nebennieren und der Thymus fehlen (Tuchmann-Duplessis 100). Damit sind in groben Zügen die

bis heute bekannten Hormone aufgezählt, welche das Pubertätsgeschehen bestimmen. Zum besseren Überblick habe ich sie in einer Tabelle zusammengestellt (Tabelle 1).

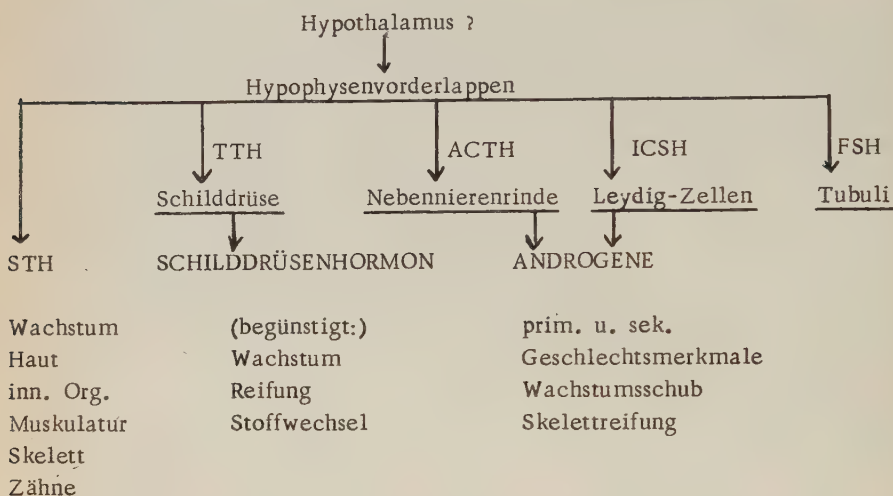


TABELLE 1: Schema der hormonellen Einflüsse auf die Pubertätsentwicklung beim Knaben.

Der Ablauf der Pubertätsentwicklung lässt sich nunmehr folgendermassen erklären: Auf die stark einsetzenden hypophysären Impulse beginnt ein stürmisches Längenwachstum. Es gehen die Meinungen darüber auseinander, welches Hormon speziell dafür verantwortlich ist. Wir werden uns damit im nächsten Kapitel auseinandersetzen. Das Genitale des Knaben bleibt vom ersten Gestaltwandel an die ganze Zeit der vorpuberalen Phase hindurch auf derselben kindlichen Stufe stehen. Geringe dimensionale Veränderungen lassen sich wohl beobachten, das Genitale wird im Rahmen der Gesamtentwicklung vielleicht etwas grösser und schwerer, aber es finden keine qualitativen Veränderungen an ihm statt, nichts, was man als Reifungserscheinungen verstehen könnte. Erst mit dem Beginn der Geschlechtsreifung tritt eine Vergrösserung der Testikel und bald darauf auch eine solche des Penis ein. Diese Entwicklung ist die unmittelbare Folge der Wirkung gonadotroper Hormone der Hypophyse (Zeller 109). Zu diesem Zeitpunkt muss beim Knaben also schon die Wirkung der Gonadotropine eine zeitlang bestanden haben. Ein Zusammenhang zwischen der Gonadotropinausscheidung und der Entwicklung der Reifungsmerkmale konnte festgestellt werden (Schwenk - Ohndorf 82). Die Angaben über

das Alter der ersten Ausscheidung gehen jedoch noch zu weit auseinander, als dass sie genauere Schlüsse zuließen (Bennholdt-Thomsen 10). Die weiteren, später auftretenden Reifungserscheinungen werden nun durch die Hormone der reifenden Keimdrüsen und durch die Hormone der Nebenniere, also die Testis- und Nebennierenandrogene bewirkt. Weiteres Wachstum des Penis, der Prostata, zunehmende Pubesbehaarung, Vergrößerung des Larynx und Stimmbruch sowie die vermehrte Talgdrüsensekretion bewirken, wie bereits angeführt wurde, die Testisandrogene. Der Aufbau der puberalen Mamille der Knaben mit ihrer Schwellung der Areola, des Warzenhofes und dem Verstreichen der Papille wird wahrscheinlich wie beim Mädchen durch Follikulin angeregt, das auch in der männlichen Keimdrüse gebildet wird (109). Nach der alten Hypothese von Biedl (11) schaltet die Keimdrüse die Tätigkeit der Hypophyse ab, wenn sie einen bestimmten Reifegrad erreicht hat. Es handelt sich um den Grad der Reife, den die Keimdrüsen bei den Mädchen erreicht haben, wenn sie die Menarche herbeiführen. Das stürmische Längenwachstum, vorwiegend der Extremitäten, schränkt sich dann immer mehr ein, dafür tritt ein Füllenwachstum auf mit der allseitigen Vergrößerung des Rumpfes. Dieser Umschwung in der Entwicklung des Körpers gab dazu Anlass, den Pubertätsablauf in zwei Phasen zu gliedern. Die Grenze zwischen erster und zweiter puberaler Phase ist beim Knaben nicht genau festzulegen, da der der Menarche entsprechende Zeitpunkt nicht so genau erfasst werden kann. Die Bestimmung der ersten Spermatozoen bietet eine Möglichkeit, ist jedoch ziemlich umständlich (Schmidt-Voigt 77). Bei weiter reifender Keimdrüse beginnen nun zusätzlich die Nebennieren-Androgene ihre morphoplastischen Wirkungen (Zeller) zu entfalten. Die Ausbildung der terminalen Axillar- und Körperbehaarung und Muskelentwicklung (81), der Pigmentierung und vor allem der Virilisierung der Gestalt (109) geschieht wahrscheinlich wesentlich unter Mitwirkung der Nebennierenrindenhormone. In der zweiten puberalen Phase vollzieht sich der Aufbau der Männlichkeit, sie endet mit dem Erreichen der Maturität.

Es wurde gezeigt, wie die Pubertätsentwicklung in allen Einzelheiten hormonell bedingt ist. Sicher kommen auch genetisch-konstitutionell oder peristatisch bedingte Variationen im Reifeablauf über Verschiebungen der inkretorischen Vorgänge zur Wirkung. Es kann die Hypophyse die Nebennieren vor den Gonaden aktivieren, so dass die Sexualbehaarung vor der Entwicklung der primären Merkmale auftritt (10). Verschiedene Gruppen von Androgenen können einerseits die Sexualbehaarung, andererseits die eigentlichen Genitalorgane beeinflussen. Eine relative Mengendifferenz der Androgenproduktion kann Varianten in der Ausprägung der Behaarung oder Muskelentwicklung machen. Die "Andrenarche" kann also zeitlich dissoziiert von der "Gonadarche" verlaufen (Bennholdt-Thomsen 10).

Wachstum und Skelettreifung

Wie wir gesehen haben, werden Geschlechtsentwicklung, Wachstum- und Skelettreifung in der Pubertät von verschiedenen Hormonen gesteuert. Das inkretorische System bildet also einen wichtigen Knotenpunkt etwaiger Zusammenhänge, die in dieser Arbeit genauer verfolgt werden sollen. Da Wachstum und Skelettreifung in einem bestimmten Gegensatz zueinander stehen, hielt ich es für notwendig die verschiedenen Ansichten über die möglichen Wirkkräfte noch in einem eigenen Kapitel zu diskutieren.

Wachstum kommt dadurch zustande, dass bei dem dauernden Umbau von Protoplasma und Knochensubstanz im Organismus der Aufbau den Abbau übertrifft. Es wird deshalb als anaboler Prozess bezeichnet. Eigentliche Wachstumshormone sind daher nur diejenigen mit eiweissanaboler bzw. stickstoffretinierender Wirkung, wie das STH und das Testosteron. Andere, nicht anabol wirksame Hormone, wie das Thyreoideahormon, sind für ein normales Wachstum ebenfalls notwendig, ohne dass sie als eigentliche Wachstumshormone bezeichnet werden können (64).

Die anabole, wachstumsfördernde Wirkung des STH kann experimentell nachgewiesen werden und ist allgemein anerkannt (103, 64, 81, 100). Beim Skelettwachstum regt es nicht so sehr die Knochenneubildung als vielmehr die Chondrogenese an. Unter seiner Einwirkung kommt es zu einer erheblichen Zellproliferation in der Epiphysenzone. Allein mit der Knorpelzellproliferation ist das Wachstum nicht abgeschlossen. Die Reifung der Knorpelzellen und die Knochenentwicklung tritt unter STH-Wirkung nur langsam ein. Dementsprechend verbreitert sich auch die Epiphysenfuge bei STH-Gaben. (Matthias 56). Testosteron hat einen fördernden Einfluss auf die Eiweissynthese. Es ist anabol wirksam. Bilanzversuche ergaben, dass unter dem Einfluss des Testosteron Stickstoff, Calcium, Kalium, Natrium, Phosphor und Schwefel genau in demjenigen Verhältnis retiniert werden, in welchem sie im Protoplasma vorkommen (33). Das Testosteron hat demnach als echtes Wachstumshormon zu gelten. Es vermag das Wachstum jeder Zwergwuchsform zu beschleunigen, so lange die Epiphysen offen stehen (64). Dem widerspricht allerdings die Feststellung, dass nur das STH das Wachstum des unbeeinflussten hypophysektomierten Tieres beeinflussen kann (100). Die Bedeutung des Schilddrüsenhormons ist infolge der deutlichen Wachstumshemmung bei Schilddrüsenunterfunktion schon lange bekannt. Die Annahme, dass die Hormone der Schilddrüse das Wachstum und die Knochenentwicklung direkt zu fördern vermögen (103), ist aber nach Prader (64) aus zwei Gründen nicht gerechtfertigt: Erstens hat das Schilddrüsenhormon nicht eine anabole, sondern direkt oder indirekt eine katabole Wirkung. Zweitens fördert das Schilddrüsenhormon das Wachstum

und die Knochenentwicklung nur beim hypothyreotischen Zwergwuchs und nicht bei jeder Zwergwuchsform, wie das STH und Testosteron.

Das ganze Leben hindurch wird Knochengewebe neu gebildet und altes Knochengewebe abgebaut. Dieser physiologische Umbau ist in der Jugend am stärksten und nimmt mit dem Alter an Intensität ab. Vielleicht mit Ausnahme der Haut, der Generationsorgane und der Blutbildungsstätten gibt es beim Menschen kein Gewebe, in dem dauernd soviel Bewegung herrscht, wie gerade im Knochen (73). So zählt der Knochen auch zu den stoffwechselphysiologisch anspruchsvollsten Organen des menschlichen Körpers (56). Das Auftreten und Wachstum neuer Knochenkerne erfolgt enchondral. Der erste Akt ist die Knorpelwucherung, welche mit der Aufnahme von Kalk in den Knorpel endet. Der zweite Akt besteht in der vom Knochenmark ausgehenden vaskulären Auflösung des Kalkknorpels, der dritte Akt im Ersatz des abgebauten Knorpels durch osteoplastisch entstehenden Knochen (15). Von der Knorpelproliferationszone bis zum kristallinen Aufbau des fertigen Knochens streckt sich die Wirkung vieler an der Pubertätsentwicklung beteiligter Hormone. Was wir bei der Knochenentwicklung während der Pubertät sehen, ist stets Ausdruck des Zusammenwirkens verschiedener hormonaler Regulationssysteme. Der Einfluss der hormonalen Vorgänge auf die Skelettentwicklung ist also im Pubertätsablauf von grösster Bedeutung. Während das somatotrope Hormon der Hypophyse das Wachstum des Knorpelgewebes der Epiphysenzone anregt (siehe oben), sind für die Reifung des Skelettsystems durch Ossifikation in der Pubertät beim Knaben in erster Linie die Androgene der Leydig'schen Zwischenzellen verantwortlich (Talbot und Sobel 97).

Von besonderem Interesse für die vorliegende Arbeit sind nun die bisherigen Beobachtungen bezüglich der Zusammenhänge zwischen Wachstum und Skelettreifung und die verschiedenen Hypothesen ihrer innersekretorischen Grundlagen. Das Längenwachstum vollzieht sich nicht gleichmässig, es geht zwischen dem 5. und 7. Jahr im Verhältnis zur Gewichtszunahme rascher voran (Periode der ersten Streckung). Eine zweite derartige Periode tritt um die Zeit der Pubertät ein. Während die Knaben nach der ersten Streckung durchschnittlich 5,6 bis 6,1 cm pro Jahr wachsen, steigt die Wachstumsgeschwindigkeit in der Pubertät auf 9 bis 10 cm pro Jahr an (Lenz 53). Es widersprechen sich die Ansichten, durch welche Hormone dieser Wachstumsschub zu Beginn der Pubertät angeregt wird. Nach Biedl kommt der Streckungsprozess durch starke hypophysäre Impulse zustande, "wofür das Fehlen gereifter Keimdrüsen gewissermassen die Vorbedingung ist" (11). Wenn die Gonaden einen bestimmten Reifestand erreicht haben, schalten sie nach seiner Meinung die Hormonwirkung der Hypophyse aus. Für einen gewissen Antagonismus von STH und Testosteron sprechen auch neuere Arbeiten (67). Danach hemmen also die Keimdrüsen das Längenwachstum, wie auch Rosen-

stern (68) annimmt. Zeller sieht einen Beweis dafür, dass das disproportionierte Längenwachstum in der ersten Pubertätsphase von den Wuchshormonen der Hypophyse getragen wird, im Auftreten des eunuchoiden Hochwuchses bei fehlenden oder schwachen Keimdrüsen, sowie im Gigantismus bzw. der Akromegalie, die im Falle einer pathologischen Hypersekretion des Wuchshormones auftreten (109). Nach Autoren neuerer Arbeiten spielen dagegen die Nebennierenrinden- und Gonadensteroiden eine wichtige Rolle für das Zustandekommen des puberalen Wachstumsschubes. Dafür sprechen folgende Feststellungen: Das Testosteron hat als echtes Wachstumshormon zu gelten (siehe oben). Nach Prader (64) steht der puberale Wachstumsschub in ersichtlicher Abhängigkeit von der plötzlichen Gewichtszunahme der Gonaden und der Nebennieren und deren Produktion von Sexualhormonen. Nach Kinsell (39) steigert der hypophysäre Wachstumsfaktor den anorganischen Serumphosphor mehr als der androgene. Er konnte an dem deutlichen Absinken des Serumphosphorspiegels während des puberalen Wachstumsschubes dessen Abhängigkeit von den Gonaden- und Nebennierenrindensteroiden beobachten. Schliesslich lassen sich auch aus den Befunden bei Über- bzw. fehlender Produktion der Androgene Schlüsse ziehen. Wie bei der Überproduktion androgener Nebennierenrindenhormone ist bei Testis-Androgen-Überproduktion das Wachstum und in noch stärkerem Masse die Knochenentwicklung beschleunigt. Die beschleunigte Knochenentwicklung führt daher zum Wachstumsstillstand, noch bevor die normale Erwachsenengrösse erreicht ist. Bei fehlender Androgenproduktion der Hoden ist die Knochenentwicklung, jedoch nicht das Wachstum, etwas gehemmt. Der Wachstumsschub der Pubertät fehlt zwar, doch erlaubt die Verzögerung des Epiphysenschlusses eine längere Wachstumsdauer. Das Resultat ist eine etwas über dem Durchschnitt liegende Körpergrösse mit auffallend langen Extremitäten. Da Erwachsene Eunuchoiden mit offenen Epiphysen nur noch sehr wenig wachsen, muss angenommen werden, dass die STH-Produktion unter normalen Verhältnissen allmählich zurückgeht, oder dass die Knochen als Endorgan allmählich auf STH nicht mehr ansprechen (64). Nach meiner Auffassung wird allen diesen Beobachtungen am ehesten das Schema der Hormonwirkungen auf Wachstum und Skelettentwicklung von Talbot und Sobel gerecht (Tabelle 2).

Faktor	Körperwachstum	Skelettreifung
Hypoph. - Wachstumshormon (STH)	+++	0
Schilddrüse	erleichtert oder gestattet	
Testis-Androgene	+	+++
Ovar-Östrogen	0	+++
NNR - 17 Ketosteroide	+ bis 0	+ bis 0

+ Tendenz den Anabolismus oder die Skelettreifung zu beschleunigen

0 Kein Einfluss vorhanden während der Adoleszenz

TABELLE 2: Einfluss der Hormone auf Körperwachstum und Skelettreifung (Talbot und Sobel 97)

Aus den Befunden bei der Androgenüberproduktion der Hoden (siehe oben) geht hervor, dass die Testisandrogene die Knochenentwicklung stärker beschleunigen als das Wachstum. Dies ist auch in Tabelle 2 ausgedrückt. Schwenk und Schwenk (10) konnten feststellen, dass frühreifende Jungen durchweg höhere und früher ansteigende 17 Ketosteroid-Ausscheidung (Stoffwechselendprodukte der Androgene) haben, als normalreifende. Sie produzieren also mehr Androgene. Entsprechend der Wirkung der Testisandrogene ist zu erwarten, dass bei diesen in der Geschlechtsentwicklung akzelerierten Jugendlichen der Wachstumsschub früher eintritt und beschleunigt abläuft und dass in noch stärkerem Masse die Skelettreifung beschleunigt ist. Als Folge wäre ein frühzeitiger Wachstumsstillstand durch Schluss der Epiphysenfugen zu erwarten, noch ehe die normale Körpergrösse erreicht wäre. Durch Verkürzung des puberalen Wachstumsschubes sowie durch die Abkürzung der gesamten Wachstumsdauer durch früheres Eintreten der Pubertät müssten folglich die akzelerierten im Endergebnis kleiner sein als die normalen und retardierten Jugendlichen. So erklärt sich die Ansicht: Je früher die normale Pubertät oder eine der pathologischen Pubertätsformen auftritt, um so kürzer ist die gesamte Wachstumsdauer und um so kleiner ist die endgültig erreichte Körpergrösse (64). Dafür spricht auch die geringere endgültige Körpergrösse der Frau, da beim Mädchen der Reifungsprozess bekanntlich früher beginnt als beim Knaben, sowie die Feststellung, dass frühreifende Rassen im Endergebnis kleiner sind als spätreifende (6). Dagegen stellte man fest, dass bei derselben Rasse die in der Pubertätsentwicklung Akzelerierten im Endergebnis grösser und die Retardierten kleiner sind als die Normalen (Neurath 59). Auch das Phänomen der säkularen Akzeleration der gesamten Jugend zeigt, dass bei der jüngeren Generation gegenüber der älteren der Reifeablauf beschleunigt ist und zugleich die endgültige Körpergrösse zugenommen hat (2, 23, 6). Wie ist aber der Zusammenhang zwischen Entwicklungsbeschleunigung und höherer endgültiger Körpergrösse erklärbar? Naheliegend wäre erstens die Annahme, dass bei den Akzelerierten nur Wachstum

und Sexualentwicklung, nicht aber die Ossifikation beschleunigt ist. Dagegen sprechen die bisherigen Untersuchungsergebnisse, sowie die fördernde Wirkung der Androgene auf die Skelettreifung. Es könnten zweitens die Androgene das Längenwachstum stärker beeinflussen, als die Skelettreifung. Das lässt sich aber nicht mit den Beobachtungen bei der Androgenüberproduktion vereinbaren, die durch die beschleunigte Knochenentwicklung zum Wachstumsstillstand führt, noch ehe die normale Körpergrösse erreicht ist. Es bleibt meiner Meinung nur die Möglichkeit, dass das Wachstum auch in der Pubertät nicht nur von den Gonadenhormonen allein beeinflusst wird, sondern wesentlich von einem Wirkstoff mitbestimmt wird, der keinen Einfluss auf die Ossifikation hat. Als solcher kommt wohl in erster Linie das STH der Hypophyse in Betracht. Dieses fördert nur das Wachstum und nicht die Knochenentwicklung (64). Der Wachstumsschub würde zwar nicht, wie frühere Autoren glaubten (11, 109, 68), allein durch das Hypophysen-Wachstumshormon zustande kommen, doch, wie Wilkins (103, 104) annimmt, durch die Testisandrogene gemeinsam mit dem STH. Wenn also die Hypophyse zusammen mit den glandotropen Hormonen, die die Pubertätsentwicklung auslösen, auch vermehrt STH ausschüttet, ist möglich, dass schon im Beginn einer verfrühten und beschleunigten Pubertätsentwicklung ein abnormes Längenwachstum zustande kommt, so dass trotz abgekürzter Wachstumsdauer eine übernormale Körpergrösse resultiert. Damit lässt sich auch die Beobachtung erklären, dass beim Fehlen der Gonadenfunktion das Wachstum nicht gehemmt ist, obwohl ein ausgeprägter Wachstumsschub fehlt (64).

Es zeigte sich, dass es schwierig ist, die bisherigen Kenntnisse von der Beeinflussung der Wachstums- und Reifungsvorgänge durch das endokrine System auf einen Nenner zu bringen, um daraus die Zusammenhänge ableiten zu können. Jedenfalls ist eine Korrelation zwischen Skelettreifung und Sexualentwicklung zu erwarten, da beide Erscheinungen im wesentlichen von den gleichen Wirkstoffen, nämlich den Testis- und Nebennierenrindenandrogenern beeinflusst werden; ebenso ist eine gewisse Beziehung des Wachstums zur Skelett- und Sexualentwicklung zu erwarten, da es in der Pubertät zumindest teilweise ebenfalls von den Androgenen beeinflusst wird.

DAS HANDRÖNTGENBILD ALS INDIKATOR DER SKELETTENTWICKLUNG

Seitdem die Entwicklung des Skelettsystems mit Hilfe der Röntgenstrahlen verfolgt werden kann, dient als Testobjekt das Radiogramm des Handskelettes. Es sprechen dafür folgende Gründe (Schmid 75):

Neben den kurzen Röhrenknochen und deren Epiphysenkernen liegen im Handwurzelbereich 11 im Laufe der ersten zehn Lebensjahre auftretende Ossifikationszentren beisammen, die in ihrem gegenseitigen Differenzierungs-, Grössen- und Formverhältnis eine reich abgestufte diagnostische Unterlage bieten. Wie bei keinem anderen Skelettabschnitt ist es durch filmnahe und filmparallele Lagerung der Hand möglich, weitgehend grössengetreue und form- und strukturscharfe Radiogramme zu erhalten.

Schon 1866 beschäftigt sich Gruber (12) mit der Verknöcherung der Handwurzel. Damals lagen die Angaben über das Auftreten der Knochenkerne der Handwurzel noch weit auseinander. Für das os naviculare schwankten die Ansichten z.B. zwischen dem vierten und neunten Lebensjahr. Nach Entdeckung der Röntgenstrahlen führten die Röntgenologen die Erforschung der Ossifikationsgesetze der Handwurzel weiter. Ranke (zit. 75) hat als einer der ersten auf die Verwendbarkeit der Röntgenfotografie zur Darstellung der Verknöcherungsvorgänge in der Handwurzel im Laufe des kindlichen Wachstums aufmerksam gemacht. Behrendsen (3) hat weitere Studien darüber angestellt und Zeitangaben für das Erscheinen der ersten Knochenkerne veröffentlicht. Heimann und Poteschnigg (34) haben neben eigenen Untersuchungen in einer umfassenden Arbeit die bis dahin gefundenen Ergebnisse diskutiert. Während diese früheren Forschungen die Aufstellung einer Norm der Handwurzelossifikation zum Ziele hatten, um gegebenenfalls aus der Zahl der vorhandenen Kerne das Alter eines Kindes bestimmen zu können, richteten sich die Untersuchungen nach dem ersten Weltkrieg mehr auf die Beziehungen der Handskelettentwicklung zur Gesamtentwicklung des Kindes und deren Störungen. Stettner (90, 91, 92, 93) untersuchte systematisch die Störungen der Ossifikation bei verschiedenen Erkrankungen. Er stellte beim normalen Kind eine innige und konstante Beziehung der drei Faktoren Alter, Längenentwicklung und Differenzierung fest. Jede Störung der Korrelation setzt nach seiner Ansicht eine Erkrankung oder eine Funktionsstörung der innersekretorischen Drüsen voraus. Bei der Einteilung seines Materials nach der sozialen Schichtung fand er, dass die Kinder aus den sozial besser gestellten Bevölkerungsgruppen gegenüber ihren sozial schlechter gestellten Altersgenossen schon von frühester Kindheit an im Wachstum beschleunigt sind, was sich sowohl hinsichtlich der Längenentwicklung als auch besonders in einem vorzeitigen Auftreten der Kno-

chenkerne im Handskelett äussert (90). Kornfeld (44) hat als erster darauf hingewiesen, dass Schlüsse aus der Handwurzelossifikation auf den tatsächlichen Entwicklungsstand möglich sind. Goett (26) und Hasselwander (32) stellten Normentabellen für das Auftreten neuer Knochenkerne auf. Siebert (85) fasste in einem Atlas der normalen Ossifikation der Hand erstmals die Ergebnisse zusammen.

Mit dem os pisiforme verknöchert im zehnten Lebensjahr der letzte Mittelhandknochen. In der Zeit der Pubertät treten ausser in den Sesambeinen an der Hand keine neuen Knochenkerne mehr auf. Für die Beurteilung der Skelettentwicklung im Reifungsalter braucht man daher eine Methode, die es ermöglicht aus Grösse und Form der verschiedenen Teile des Handskelettes den Stand der Knochenentwicklung abzulesen.

Für die Grössenentwicklung der Handwurzelknochen stellte Munk (58) m. W. die ersten Tabellen zusammen. Seine Methode war die Abmessung der Handwurzelkerne nach ihrer grössten Höhe und ihrer grössten Breite. Aus seinen Tabellen ergibt sich, dass die Kerne sich in den einzelnen Altersstufen betreffs Kerngrösse und Kernbreite genau an einen Regeltyp halten, wenn auch eine gewisse Variationsgrenze nach oben und unten zugestanden werden muss. Er kam zu folgendem Ergebnis: Aus dem Vergleich der Handwurzelkernmasse in ihrer Gesamtheit mit den Tabellen kann annähernd das Alter des betreffenden Individuums festgestellt werden, insofern es sich um eine normale Entwicklung, frei von inneren und äusseren Schädigungen handelt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Mädchen mit dem Auftreten der ersten Kernanlage - mit Ausnahme des triquetrum - den Knaben um ungefähr ein Jahr voraus sind und dass Kernhöhe und -breite bei ersteren annähernd um 0,5 - 1,0 mm mehr betragen als bei den Knaben. "Stossen wir beim Vergleich einer Kernreihe auf grössere Abweichungen von unserer Norm unter Berücksichtigung der Variationsbreite, so sind wir gezwungen, eine Schädigung anzunehmen, deren Ursache wir nachgehen müssen" (58). Kornfeld (44) hat an den Röntgenaufnahmen des Handskeletts die grösste Ausdehnung der einzelnen Knochenkerne in der Handwurzel gemessen um den Ossifikationsstand festzustellen. Schmid (75) bestimmte nach der Methode von Munk anhand von 500 Radiogrammen der Handwurzel die Norm und Variationsbreite für das Auftreten und die Grössenentwicklung der Carpalia. Die mittlere Schwankungsbreite liegt bei ihm für kein Mass mehr als 2 mm über bzw. unter dem Mittelwert. Es liess sich also gut eine Norm für die Handwurzelkerngrösse aufstellen. Eine bestimmte Variationsbreite innerhalb einer Altersstufe spricht nicht gegen die entwicklungsdiagnostische Verwendbarkeit, sondern erlaubt trotzdem auf Beziehungen zur Gesamtentwicklung zu schliessen, da auch hier die Variationsbreite innerhalb der "Norm" einer Altersstufe ziemlich gross ist. Ein Vergleich mit den Grössennormen von Munk ergibt in Schmid's Material kleinere Durchschnittswerte. Da

Schmid auch für einige Altersstufen jenseits des Pubertätsbeginns Durchschnittswerte angegeben hat, werde ich damit meine Ergebnisse vergleichen können. Sawtel (71) stellte 1929 fest, dass die Epiphysenossifikation der Phalangen und Metakarpalen in enger Beziehung zum Körperwachstum steht, während die Entwicklung der Mittelhandknochen davon weit unabhängiger sein sollen. Die übrigen Autoren sind bezüglich der grösseren Bedeutung der Epiphysen einerseits oder der carpalia andererseits für die Entwicklungsdiagnose verschiedener Ansicht. Munk(58) hält die Beurteilung der Grössenverhältnisse der eigentlichen Handwurzelkerne für wichtiger als jene der als reine Epiphysenkerne auftretenden Teile. Es ergeben sich nämlich bei der Messung der Handwurzelkerne für das betreffende Alter nur geringe Variationen in den Kernmassen, während, besonders für Radius- und Ulnakern, grössere Schwankungen in Betracht kommen. Stettner (93) schreibt dagegen: "Mit Ausnahme von os capitatum und hamatum erweisen sich die Handwurzelkerne im allgemeinen in der Reihenfolge ihres Erscheinens weniger gesichert, als die Epiphysenkerne der langen und kurzen Röhrenknochen." Schmid (75) präziserte nach seinen eigenen Erkenntnissen die Ansichten Sawtel's bezüglich der dissoziierten Ossifikation der Carpalia- und Epiphysenkerne: Die Ossifikation der Epiphysenkerne läuft dem Längenwachstum parallel, die Ossifikation der Carpalia der Entwicklung als Summe geistiger und körperlicher Faktoren. Ich werde hierzu bei meinen eigenen Untersuchungen Stellung nehmen.

Amerikanische Autoren (Wilkins 4, Todd 99) halten die Formveränderungen an den Einzelelementen des Handskeletts als Indikatoren des Entwicklungsstandes für zuverlässiger als ihre Grösse allein. Der neueste mir bekannte und besonders von ausländischen Autoren (z.B. 16, 63) empfohlene Atlas zur Beurteilung von Handröntgenbildern ist der von Greulich und Pyle (28). An Hand eines sehr umfangreichen, ausgesuchten Untersuchungsmaterials wurden die Formveränderungen ("maturity indicators") aller Einzelelemente des Handskelettes studiert, die auf einer Röntgenaufnahme sichtbar sind. Auf Grund der Ergebnisse stellte man diesen Röntgenatlas von der Skelettentwicklung der Hand und der Handwurzel zusammen. Von der Geburt bis zum 18. Lebensjahr ist für jedes Alter das typische Röntgenbild in natürlicher Grösse angegeben. Im allgemeinen entspricht auf einem solchen Standardbild der Entwicklungsstand jedes einzelnen Knochenteiles dem entsprechenden Alter ("bone age"). Andernfalls ist er eigens vermerkt. Die genaue Zusammenstellung der Reifezeichen für jeden Knochenteil ermöglicht die Feststellung des Knochenalters für jedes Einzelelement und erlaubt eine differenzierte und sehr genaue Diagnostik. Ich habe daher neben der von deutschen Autoren angegebenen Methode der Messung der Handwurzelknochen meine Röntgenbilder auch nach dem Atlas von Greulich und Pyle (28) beurteilt. Möglicherweise zeigen Grössenentwicklung und Formveränderung verschiedene Beziehungen zu anderen Reifungsvorgängen und zu dem Wachstum.

Die Differenzierung der Sesambeine an der Hand wurde bisher als Kriterium der Skeletteentwicklung wenig beachtet. Ihre Ossifikation fällt aber in der Regel mit dem Beginn der Pubertät zusammen (Fanconi 21, Grashey 27, Prader 63). Wenn aus ihrer Differenzierung Schlüsse auf die gesamte Skelettentwicklung möglich sind, haben wir auch für die wichtige Zeit der Pubertät eine einfache Methode, grobe Abweichungen der Skelettreifung festzustellen, neben der subtileren Untersuchung des gesamten Handskeletts. Ich werde die Sesambeine am Metacarpo-Phalangealgelenk des Daumens in meine Untersuchungen mit einschliessen und die Beziehungen ihrer Entwicklung zur Reifung des gesamten Handskeletts und zu anderen Entwicklungsfaktoren prüfen, um festzustellen, wieweit daraus Schlüsse auf die Skelettreifung und die Gesamtentwicklung möglich sind.

Die meisten Autoren, welche Ossifikationstabellen aufstellten, berücksichtigten darin die Differenzierung der Sesambeine des Daumens nicht (26, 58, 75) oder bemerkten sie nur am Rande (32, 85, 27, 76). Für die Verwendbarkeit der Ossifikation der Sesambeine als Indikator für die Skelettentwicklung sprechen die Untersuchungen von Degen (17). Er ermittelte bei eigenen Beobachtungen genaue Daten für die Erscheinungszeit der Knochenkerne in den Daumensesambeinen am Metacarpophalangealgelenk. Danach folgen die Sesambeine der Hand in ihrer Verknöcherung den allgemeinen Regeln und versetzen den Untersucher in die Lage, eine bisher vorhandene Lücke in der Beurteilung der Verknöcherungsvorgänge am Handgelenk in der wichtigen Präpubertätszeit (der Verf. meint wahrscheinlich die Zeit vor der Erlangung der Geschlechtsreife) zu schliessen. Prader (63) schreibt "für die Beurteilung eines fraglichen Hypogonadismus genügt oft die Kenntnis, dass beim Knaben die Pubertät mit einem Knochenalter von 13 Jahren durch das Erscheinen des ersten Sesambeines am Daumen gekennzeichnet ist". Er veranschaulicht in einer Tabelle, dass das Wachstum des Kehlkopfes, erste Pubesbehaarung, Zunahme des Längenwachstums, erstes Daumensesambein und die Ausscheidung von FSH im Urin parallel gehen. Das Erscheinen des ersten Daumensesambeines bei einem Knochenalter von 10 1/2 Jahren bei den Mädchen und von 13 Jahren bei den Knaben fällt in der Regel mit dem Beginn der Pubertät zusammen (21, 64).

Da es sich um wenig bekannte Knöchelchen handelt, halte ich es für notwendig, hier kurz auf die Anatomie der Sesambeine einzugehen. Ganz allgemein handelt es sich bei Sesambeinen um kleine Knochen und Knorpelchen, die in die Sehnen von Muskeln eingelassen erscheinen, mit diesen zusammen sich bewegen und nur an einer Seite eine freie (Gelenks-) Oberfläche darbieten. Sie erleichtern das Gleiten der Sehnen und wirken unter Umständen als bewegliche Hypomochlia (61). Das grösste Sesambein des menschlichen Körpers ist die Patella. Auch das os pisiforme der Hand, die häufig im fibularen Gastroknemiuskopf vorkommende Fabella und die ossa peronea können wir als Sesambeine auffassen (73). Kleine

Sesambeine wurden fast an allen Finger- und Zehengelenken festgestellt. Uns interessieren speziell diejenigen am Metacarpophalangealgelenk des Daumens, da sie konstant vorhanden sind und bei einer normalen Handskelettaufnahme mit dargestellt werden können. Sie sind gewöhnlich hanfkorngross (86). Das ulnare Sesambein des Daumengrundgelenkes ist in die Ansatzsehne des M. adductor pollicis eingelassen, das radiale in die Ansatzsehne des M. abductor pollicis brevis. Ihre Gelenke stehen mit dem Grundgelenk des Daumens in Verbindung. Der M. flexor pollicis brevis setzt am radialen und ulnaren Sesambein an (48). Die Häufigkeit dieser beiden Sesambeine wird einheitlich mit hundert Prozent angegeben (48, 17, 61, 88). Entwicklungsgeschichtlich ist interessant, dass die Sesambeine eine Neuerwerbung der Säuger sind. Bei den niedersten Säugern sind sie sehr zahlreich und konstant, ein Merkmal, das bei den höher entwickelten Rassen weider verloren geht, um bei den übrigen Primaten bereits ähnlichen Verhältnissen, wie beim Menschen, Platz zu machen (17).

Die Erscheinungszeit eines Knochenkerns im Daumensesambein auf dem Röntgenbild erwähnte bereits 1897 Behrendsen (3): "... als letzte Neubildung sieht man im 12. bis 13. Jahr neben dem Metacarpo-Phalangealgelenk des Daumens ein Sesambein hervortreten." Ich habe verschiedene Angaben über die Verknöcherung der Daumensesambeine beim Knaben in Tabelle 3 zusammengestellt. Die genauesten Angaben stammen von Stettner (93) und Degen (17). Sie sind in einer Zeichnung gegenübergestellt (Abbildung 1). Stettner konnte allerdings nur die untere Grenze der Altersvariation im Auftreten der Knochenkerne angeben, da er keine älteren Altersgruppen untersucht hat. Ein grosser Teil der von uns untersuchten Knaben ist 13 1/2 bis 14 Jahre alt, liegt also innerhalb der Variationsbreite für das Erscheinen der Daumensesambeine. D. h., der Knochenkern kann in diesem Alter bereits sichtbar sein oder auch noch nicht, ohne dadurch von der "Norm" abzuweichen. Ich werde sein Verhalten bei der Auswertung der Röntgenaufnahmen getrennt notieren, um seine entwicklungsdiagnostische Verwertbarkeit verfolgen zu können.

Nach Schinz (73) werden geringe Asymmetrien in der Knochenentwicklung nicht selten beobachtet. Falls bei Ossifikationsdifferenzen in der Handwurzel ein Unterschied zwischen rechts und links besteht, soll die linke Handwurzel fast stets die fortgeschrittenere sein. Stettner (90) hat sich aber an einer grösseren Zahl von Fällen überzeugen können, dass bei normalen Kindern die Unterschiede zwischen rechts und links nicht so gross sind, dass sie praktische Bedeutung besitzen. Pryor (65) konnte an einer grossen Anzahl von Handröntgenogrammen bei normaler und pathologischer Entwicklung die bilaterale Symmetrie nachweisen. Schmid fand in seinem Material nur bei 0,6 % der normalen Fälle Asymmetrien (76).

Verfasser	Jahr	erstes Sesambein trat auf mit		
Behrendsen (3)	1897	12	- 13	Jahren
Hasselwander (32)	1925	13	- 14	"
Stettner (93)	1931	12, 11	- ?	"
Degen (17)	1950	13, 1	- 14, 9	"
Schinz (73)	1952	13		"
Spaltenolz (88)	1953	12	- 15	"
Grashey (27)	1955	12	- 15	"
Labhart (46)	1957	13		"

TABELLE 3: Zusammenstellung verschiedener Angaben über das Erscheinen des ersten Daumensesambeins beim Knaben.

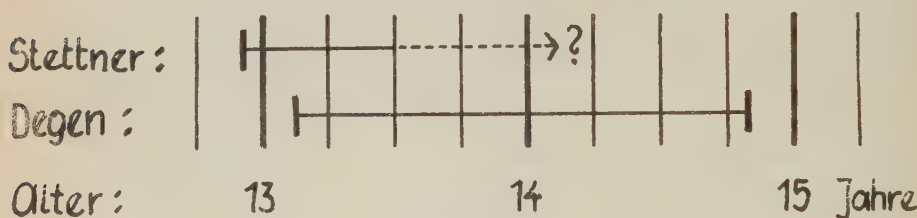


ABBILDUNG 1: Altersvariation im Auftreten des ersten Knochenkernes im Daumensesambein nach Stettner (25) und Degen (38).

Zur Beurteilung der Skelettentwicklung auf einem Handröntgenbild dient also im Pubertätsalter

1. die Abmessung der Knochenkerne im Handwurzelbereich
2. die Beobachtung der sichtbaren Formveränderungen aller Einzelelemente des Handskeletts, auch der Metacarpalen und Phalangen samt ihrer Epiphysen und
3. die Beachtung der Differenzierung der Daumensesambeine, wo auch in diesem Alter noch neue Knochenkerne auftreten.

Da diese Methoden verschiedene Faktoren der Skelettentwicklung erfassen, ist es leicht möglich, dass ihre Ergebnisse nicht einheitlich sind. Um eine zuverlässige Auskunft über den Stand der Skelettentwicklung jedes Probanden zu bekommen, habe ich die Röntgenaufnahmen nach verschiedenen Methoden beurteilt, zumal ich zunächst nicht entscheiden konnte, welche davon die günstigste war.

DIE SÄKULARE AKZELERATION DER PUBERTÄTS- ENTWICKLUNG

Jeder, der sich gegenwärtig mit Problemen der Pubertätsentwicklung beschäftigt, wird dem Phänomen der säkularen Akzeleration begegnen. "Säkulare Akzeleration" ist die Bezeichnung für die allgemeine Entwicklungsbeschleunigung der gesamten Jugend und von dem Begriff "Akzeleration" schlechthin zu unterscheiden, womit die Beschleunigung einzelner Jugendlicher gegenüber dem Durchschnitt irgendeiner Gruppe gemeint ist. Bei der Pubertätsentwicklung ist allgemein der Start vorverlegt, der Ablauf beschleunigt und das Endergebnis gesteigert (4). Die Vielzahl der Beobachtungen kann in zwei Tatsachengruppen gegliedert werden (nach Bennholdt-Thomsen):

Die erste Gruppe umfasst die Unterschiede zwischen zeitlich begrenzten Generationen (mit Unterteilung: überstürzte Entwicklungsbeschleunigung seit 1920).

Die andere grosse Gruppe dokumentiert sich in den Entwicklungsunterschieden innerhalb derselben Generation, also innerhalb ein und derselben Bevölkerung, unterschiedlich aber hinsichtlich ihrer Herkunft, so nach Stadt und Land und nach der sozialen Schichtung.

Unterschiede in der Entwicklung besonders der zweiten Gruppe wurden schon vor Jahrhunderten festgestellt (23). Die Unterschiede der ersten Gruppe, also zwischen zeitlich begrenzten Generationen, sind ebenfalls seit längerer Zeit bekannt, eine überstürzte Beschleunigung hat etwa 1920 eingesetzt und ist erstmals von Koch (43) ausführlich beschrieben worden. Die säkulare Akzeleration betrifft alle Altersstufen, ist weder auf Europa, noch auf die weissen Rassen beschränkt (23). Die festgestellten Grundtatsachen dieses Phänomens sind mehrmals systematisch zusammengefasst worden (z. B. 7, 23). Die Veränderungen betreffen fast sämtliche Vorgänge der individuellen Entwicklung des Menschen. Neugeborenengrösse und -gewicht sind erhöht (38, 22), die Verdoppelung des Geburtsgewichtes ist vorverlegt (98), ebenso erste und zweite Dentition (19), Ossifikation (76), Pubertätsbeginn und sexuelle Aktivität (40). Das Grössenmittel hat für alle sozialen Gruppen zugenommen (23). Besonders interessant und wichtig ist die Beobachtung, dass die Veränderungen auch in den Ablauf verschiedener Krankheiten eingreifen. Nach Kniest (41) ist seit der Jahrhundertwende das tuberkulöse Geschehen um rund zwei Jahre vorverlegt. Entsprechende Verschiebungen wurden auch für andere Krankheitsbilder beschrieben, so für die rheumatischen Erkrankungen (18), für die Tonsillenhypertrophie (49), Chorea minor (5) u. a.

Diesen Grundtatsachen des Phänomens "säkulare Akzeleration" steht eine Menge von Erklärungsversuchen gegenüber, von denen ich hier nur die wichtigsten anfüh-

ren kann. Die verschiedensten Faktoren sind schon als Ursachen angegeben worden, so z. B. klimatische und kosmische Einflüsse (105), relative Zunahme der Erstgeborenen (24), Verbesserung der hygienischen Verhältnisse (30). Koch (43) spricht von einer heliogenen Akzeleration. Er sieht die Ursache für die Entwicklungsbeschleunigung in dem erhöhten Genuss von UV-Strahlen bei der Stadtbevölkerung durch die Zunahme der Licht- und Sonnenbäder, Sport im Freien u. s. w. Als Begründung führt er die günstige Wirkung des Sonnenlichts auf das Wachstum im Tierversuch und verschiedene Erfahrungen beim Menschen an, so das bessere Wachstum der Nägel und Haare und bessere Wundheilung im ultraviolettten Licht. Ein berechtigter Einwand gegen die heliogene Theorie ist der, dass das Landkind sicher mehr der Sonne ausgesetzt ist, als das Kind in der dunstüberlagerten Grosstadt. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass die reichliche Ultraviolettwirkung geradezu hemmend wirken kann (4). Lenz (50, 51, 52) sieht die Ursache der Akzeleration in einer hormonellen Umstimmung durch eine Wandlung in der Ernährung. Die Ernährung der Völker mit abendländischer Zivilisation ist fett- und fleischreicher geworden bei gleichzeitiger Abnahme des zur Erzeugung von Körperwärme und Muskelkraft nötigen Bedarfes. Die Folge sei eine Anregung von Hypophysenvorderlappen, Nebennierenrinde und Schilddrüse. Viele Autoren haben sich gegen die Ernährungshypothese ausgesprochen (43, 4, 23). Besonders eingehend ist sie von Freund-Meier kritisiert worden (23). Von den meisten anerkannt wird heute die Anschauung Bennholdt-Thomsens (4, 5, 6, 7, 8, 9, 10): Die Akzeleration sei bedingt durch die zahlenmässige Zunahme einer Schicht von Menschen mit erhöhter vegetativer, innersekretorischer und cerebraler Ansprechbarkeit bzw. gesteigerter Reaktionsbereitschaft. Dieser Menschentyp sammle sich in den Städten, besonders in den Grosstädten, durch die überwiegend selektive Abwanderung vom Lande und werde, da ihm nicht nur die lebhafteren und unruhigeren, sondern auch die durchschnittlich begabteren Menschen angehören, besonders häufig in der sozialen Oberschicht der Städte angetroffen. Obwohl auch diese Hypothese nicht unkritisiert ist (105), wird sie nach meiner Meinung am ehesten allen Gegebenheiten gerecht. Portmann (62) hat sie noch um ein Glied erweitert, indem er nicht nur die gesteigerte Reaktionsbereitschaft bestimmter Menschen annimmt, sondern ausserdem eine selektive Häufung von solchen psychischen Reizen, auf die ganz besonders stark die Anlage zu schlankem, leptomorphen Wuchse anspricht.

EIGENE UNTERSUCHUNGEN

MATERIAL UND METHODEN

Das Untersuchungsmaterial

Das Material für meine eigenen Beobachtungen stammt von Untersuchungen an insgesamt 42 Schülern einer Münchner Oberrealschule in den Monaten Dezember 1958 und Januar 1959. Ich habe die Knaben bezüglich ihres Alters genau ausgesucht, da ich die Entwicklungsvariationen bei gleichem Alter untersuchen wollte. Aus der zur Verfügung stehenden Auswahl wurden 28 Knaben des Alters zwischen 13 1/2 und 14 Jahren ausgesucht. Ich wählte für den grösseren Teil meiner Untersuchungen diese Altersgruppe, da hier nach früheren Arbeiten (Zeller 108, Schmidt-Voigt 77, Lachner-Werner 47) alle Reifungszeichen in der Entwicklung standen. Es waren alle Übergangsstufen zu erwarten. Um einen Eindruck von dem Entwicklungstempo in dem gewählten Milieu zu bekommen, habe ich noch eine kleinere zweite Gruppe von Oberschülern untersucht, die im Durchschnitt genau ein Jahr jünger, also 12 1/2 bis 13 Jahre alt waren. Bezüglich der sozialen Herkunft des Untersuchungsgutes ist zu sagen: Die Schüler einer höheren Lehranstalt stammen selbstverständlich im Durchschnitt aus besseren sozialen Verhältnissen, als die einer Volks- und Berufsschule. Wir werden dies bei unseren Beobachtungen und ihrem Vergleich mit anderen Angaben berücksichtigen müssen. Der Beruf des Vaters wurde bei jedem Probanden notiert. Es waren zum grösseren Teil höhere Beamte und freie Berufe, im übrigen vorwiegend Angestellte und Handwerker. Die Schüler wohnten alle in München, zum grössten Teil in der Altstadt, ein kleiner Teil kam aus der Vorstadt. Das Milieu ist also durchaus als "Grosstadt" zu bezeichnen. Ich habe mein Material bewusst aus diesem Milieu ausgesucht, in dem der Anteil an der allgemeinen Entwicklungsbeschleunigung, sowie die Variationsbreite des Entwicklungstempos besonders hoch zu erwarten sind, da ja die Verhältnisse der Reifungserscheinungen bei verschiedenen Ablaufformen der Pubertät studiert werden sollen.

Somatoskopische Entwicklungsdiagnose

Es ist bis heute noch nicht möglich, den Entwicklungsstand eines Jugendlichen objektiv und exakt zu erfassen. Vielleicht können in Zukunft durch die Bestimmung der Hormonspiegel absolute Wertmasse für die Beurteilung der körperlichen Entwicklung gewonnen werden. Beim Mädchen haben wir mit der Menarche einen genau bestimmbareren Termin im Verlauf der geschlechtlichen Reife. Es wurde auch bei Knaben der Eintritt der Geschlechtsreife durch das Auftreten von reifen Keimzellen bestimmt. Die Diagnose von Spermatozoen im Urin ist aber sehr um-

ständig und deshalb für Reihenuntersuchungen unbrauchbar (Schmidt-Voigt 77). Wie weit das Skelettsystem über den Entwicklungsstand Auskunft geben kann, soll in vorliegender Arbeit diskutiert werden. Wir sind zunächst darauf angewiesen, aus den sichtbaren Veränderungen der generativen Reifungszeichen den Entwicklungsstand des Jugendlichen in der Pubertät zu beurteilen.

Seit Beginn unseres Jahrhunderts haben viele Autoren die Entwicklung der primären und sekundären Geschlechtsmerkmale verfolgt und ihre Entwicklungsstufen beschrieben. Diese Arbeiten beschränken sich aber alle auf eines oder auf wenige sichtbare Reifungszeichen und sind im Schrifttum weit verstreut (z.B. Stratz 95, Neurath 59, Rosenstern 68, Falta 20). W. Zeller (107, 108 und 109) fasste als erster alle sichtbaren Reifungszeichen zusammen. Er stellte ein vollständiges Schema der somatischen Entwicklungsmerkmale auf und beschrieb für jede Phase der Entwicklung das äussere Erscheinungsbild des Jugendlichen in allen Einzelheiten. Er verwendet folgende Merkmale für die somatioskopische Entwicklungsdiagnose beim Knaben: Mamille, terminale Behaarung (Pubes, Axillarbeh., Bartbehaarung, terminale Behaarung des übrigen Körpers), Penis und Scrotum, Stimmentwicklung, Kehlkopf und Virilität. Die Entwicklung jedes einzelnen Merkmals hat er in Stufen aufgeteilt und sie nach ihrem Abstand von der Maturität nummeriert. So z.B. bei der männlichen Mamille: Kindliche Form, unpigmentiert und klein: - 2; Schwellform während der Pubertät: - 1; mature Form: 0. Die Entwicklungsstufen aller Reifungszeichen des Probanden zusammen ergeben seine Entwicklungsformel. So kann der Jugendliche an einer bestimmten Stelle im Entwicklungsablauf eingestuft werden, da es für jede Phase der Pubertätsentwicklung eine typische Entwicklungsformel gibt. Es ist möglich, das Alter, mit dem eine bestimmte Reifungsphase mit der entsprechenden Entwicklungsformel durchschnittlich erreicht wird, statistisch zu ermitteln. Im Vergleich mit der Norm kann dann der einzelne als Früh-, Normal- oder Späentwickler diagnostiziert werden. Diese Zeller'sche Methode der somatioskopischen Entwicklungsdiagnose wurde von vielen Autoren zum Teil etwas abgeändert mit Erfolg angewandt (z.B. 77, 78, 94, 47, 81, 12, 31). Mir erschien die Bezeichnung der einzelnen Stufen mit Buchstaben nach Schmidt-Voigt (77) einfacher und übersichtlicher als die Zeller'schen Zahlen. Die kindliche Stufe wird immer mit K bezeichnet, von Zeller dagegen einmal mit - 2 und einmal mit - 3, je nachdem in wieviele Stufen er ein Reifungsmerkmal aufgeteilt hat. Die pubescente Stufe wird mit P und die Stufe der Reife mit R bezeichnet. Treten bei einem Merkmal zwei markante Zwischenstufen zwischen der kindlichen und reifen Stufe auf, wird die Pubescenz in zwei Stufen KP und PR aufgeteilt. Bober und Scholz (12) verwenden überhaupt keine Symbole, sondern beschreiben direkt den Zustand des Reifungszeichens. Z.B. für die Axillarbehaarung: fehlt - wenig - glatt - gekräuselt. Ein so vorgedruckter

Untersuchungsbogen hat ohne Zweifel den Vorteil, dass er von verschiedenen Untersuchern ohne besondere Vorbildung einheitlich ausgefüllt werden kann. Da ich die Untersuchungen alle selbst durchführen konnte, blieb ich bei der klaren und kürzeren Methode mit den Buchstaben. Ich benützte folgende Reifungszeichen:

1. Mamille: K : flach, unpigmentiert; P : puberale Schwellform; R : mature Form.
2. Penis und Scrotum: K : Penis klein, konisch, Scr. kuppelförmig; KP : Pe. zylindrisch, länger, Scr. schlaffer; PR : Pe. dicker, Scr. beutelförmig; R : mature Form.

Terminale Behaarung:

3. Pubes: K : fehlt; KP : beginnend um die Peniswurzel; PR : beg. Ausbreitung und Kräuselung; R : mature Form.
4. Axilla: K : fehlt; KP : vereinzelt term. Haare; PR : dichteres Haarfeld, leicht gekräuselt; R : mature Form.
5. Bartbehaarung: K : fehlt; P : beginnend; R : matur.
6. Stimme: K : kindliche Stimme; P : dunkler, mutierend; R : mutiert, männlich.

Die genaue Beschreibung jeder einzelnen Stufe dieser Zeichen finden sich bei Schmidt-Voigt (78). Einige Merkmale, die von verschiedenen Autoren zusätzlich beobachtet wurden, habe ich aus folgenden Gründen weggelassen: Zeller's "Virilität der Gestalt" ist nach Bober und Scholz (12) an keine Kriterien gebunden, sondern ihre Ausdeutung völlig der Fantasie des Beurteilers überlassen. Ich glaubte für die Beurteilung dieses Merkmals nicht die nötige grosse Erfahrung zu besitzen. Die terminale Behaarung des übrigen Körpers ausser Pubes-, Axillar- und Bartbehaarung ist konstitutionell so verschieden, dass sie mir für die entwicklungsdiagnostische Verwendung zu unsicher erschien. Die Entwicklung des Kehlkopfes ging stets der Stimme parallel, weshalb ich ihn bei der Auswertung nicht eigens aufzähle. Auch andere Untersucher haben ihn zusammen mit der Stimme bewertet oder ganz weggelassen (78, 12). Um nach Schmidt-Voigt die Körperhaltung und Körperbewegung sowie Gesicht und Gesichtsausdruck zu beurteilen, glaubte ich nicht über die nötige Erfahrung zu verfügen, die m.E. hierzu nötig ist.

Ich habe also für alle Probanden die Entwicklungsformel aus den sechs genannten Merkmalen aufgestellt. Nach dieser Formel waren sie ohne Berücksichtigung des Alters in eine von fünf Gruppen einzustufen, von denen jede einem ganz bestimmten Entwicklungsstand entspricht:

1. Stufe: Die Jugendlichen standen noch in der Präpubertät. Sie wiesen keine Anzeichen der beginnenden Pubertät auf. Ihre Entwicklungsformel enthielt für alle Merkmale K.
2. Stufe: "Eben beginnende Pubertät" (57). Hier stellte ich die Knaben zusammen, bei denen ein Reifungsmerkmal in eine pubescente Stufe übergegangen war. Meist waren es Penis und Scrotum oder Pubesbehaarung.
3. Stufe: Die Knaben standen bereits in der ersten Pubertätsphase: Mamille, Pe.Scr. sowie die Pubesbehaarung standen in Entwicklung, während die übrigen Reifungszeichen meist noch auf der kindlichen Stufe standen.
4. Stufe: Die Knaben dieses Entwicklungsgrades standen ebenfalls noch in der ersten puberalen Phase. Zunehmende terminale Behaarung von Gesicht und Axilla deuteten aber bereits den Übergang zur zweiten Pubertätsphase hin, was mich bewog, sie als eigene Gruppe zusammenzustellen. Sie weisen meist nur noch bei einem Merkmal die kindliche Stufe auf. So war es möglich, die grosse Zahl der Probanden, die in der ersten puberalen Phase standen, in zwei Gruppen aufzuteilen.
5. Stufe: Hier stehen schliesslich alle Knaben, die eindeutig in der zweiten puberalen Phase standen. Pe. und Scr., sowie die Puberalbehaarung haben durchwegs die prämatüre Stufe PR erreicht. Als Folge der hormonellen Veränderungen in der zweiten puberalen Phase kam eine rasche Entwicklung der terminalen Gesichts- und Axillarbehaarung zustande. Auch die Stimmentwicklung war weiter fortgeschritten.

Eine Gruppe der Maturität entfällt, da keiner der Untersuchten in allen Merkmalen mit R zu beurteilen war.

Ich habe also den gesamten Pubertätsablauf in vier Abschnitte aufgeteilt und zusammen mit dem der Präpubertät fünf Stufen der Geschlechtsentwicklung erhalten, in die ich mein Material einteilen konnte. Tatsächlich sind die Übergänge im Pubertätsablauf fließende, wie bei jedem natürlichen Vorgang. Um aber einzelne Ausschnitte daraus beobachten und miteinander vergleichen zu können, war es notwendig, die Befunde in dieses Schema zu zwingen.

Wer ist nun von den untersuchten Knaben als normalentwickelt, akzeleriert oder retardiert zu bezeichnen? Es gibt m. W. gegenwärtig keine Normentabelle der Pubertätsentwicklung, die für unseren Bereich von allgemeiner Gültigkeit wäre. Alle derartigen Angaben, die ich auffinden konnte, waren veraltet, geographisch oder sozial beschränkt oder sie umfassten nicht die Reifezeichen, die ich zur

Diagnose benützte. Es blieb mir nur die Möglichkeit, mein Material nach den eigenen Untersuchungsergebnissen aufzuteilen. Ich ging dabei vor wie Zeller (108) und setzte an Hand der Entwicklungsformel als "Norm" das Stadium der Entwicklung fest, in dem eine erhebliche Mehrzahl der betreffenden Altersgruppe stand. Eine solche Einteilung ist selbstverständlich nur für den Bereich gültig, aus dem sie kommt. Sie gestattet mir aber, erstens die eigenen Untersuchungen mit früheren zu vergleichen, die in der gleichen Weise aufgeteilt worden waren und zweitens die drei Entwicklungsvarianten beim eigenen Material bezüglich bestimmter Erscheinungen miteinander zu vergleichen. So wird es z.B. möglich sein, den Stand der Skelettentwicklung der Akzelerierten, der Normalentwickelten und der Retardierten meiner Versuchsreihen miteinander zu vergleichen.

Grösse und Gewicht

Jeder Untersuchte wurde gemessen und gewogen. Er war dabei mit einer Unterhose bekleidet. Die Körperlänge wurde in Zentimetern, das Gewicht in Kilogramm mit einer Dezimale, also auf 100 Gramm genau aufgezeichnet. Gegebenenfalls wurde aufgerundet. Wie aus umfangreichen Untersuchungen hervorgeht, sind Grösse und Gewicht die bedeutendsten Körpermasse (Wülfling 106). Andere Masse sind nicht so charakteristisch häufig Faktoren der Gesamtgrösse und daher vielfach umstritten. Ich habe deshalb davon abgesehen, zur Bestimmung der Wachstumsverhältnisse noch weitere Abmessungen zu verwenden.

Die Röntgenaufnahme und ihre Auswertung

Um den Entwicklungsgrad des Skelettsystems meiner Probanden festzustellen, habe ich eine dorso-volare Röntgenaufnahme der linken Hand hergestellt. Von Wilkins (103) wurde zwar empfohlen, sich nicht auf die Ossifikation einer einzelnen Gruppe von Knochen zu verlassen, sondern möglichst von allen Gelenken Röntgenogramme anzufertigen, um so ein durchschnittliches Knochenalter zu bekommen. Ich halte dies aber für unnötig, da sich so viele Autoren mit Erfolg auf das Handskelett beschränkt haben (Munk 58, Stettner 90, 91, 92, 93, Kornfeld 44, Siegert 85, Ruckensteiner 69, Schmid 75, 76 und Greulich und Pyle 28). Die Gründe, welche für eine vorzugsweise Verwendung des Handskelettes sprechen habe ich bereits angegeben (Seite 19). Ich habe jeweils nur die linke Hand untersucht, da Seitendifferenzen der Knochenkernentwicklung zu selten sind, um praktische Bedeutung zu haben (siehe Seite 23).

Als Filmmaterial empfiehlt Schäfer (72), um eine optimale Zeichnung zu er-

halten, für die Extremitätenaufnahmen Spezialfilme (Doneo, Sino) ohne Verstärkungsfolie. Unsere Aufnahmen wurden auf Agfa-Sinofilmen ohne Verstärkungsfolien hergestellt. Der Abstand der Comet-Dynamax-Röhre des verwendeten Gerätes vom Film betrug stets 65 cm.

Die Aufnahmen wurden alle unter denselben Bedingungen gemacht, um Fehler durch verschiedene Lagerung des Objektes zu vermeiden, was für die metrische Auswertung der Radiogramme unbedingt erforderlich war. Ich liess die Knaben auf einem Stuhl sitzen, den linken Unterarm fest auf den Tisch des Gerätes auflegen und die Handballen mässig gegen die Filmplatte drücken, um die Handwurzel in jedem Fall möglichst filmnah zu bekommen. Den Daumen liess ich in Flexion adduzieren und die Grundphalanx ebenfalls etwas gegen den Film drücken. In dieser unphysiologischen Haltung des Daumens stellten sich meiner Meinung nach die beiden Sesambeine am Metacarpo-phalangealgelenk deutlicher dar, als in der normalen Stellung.

Bei der Auswertung der Röntgenogramme habe ich mich folgender bereits erwähnter Verfahren bedient (siehe Seite 19 ff): Messung der Knochenkerne im Handwurzelbereich, Beurteilung der Formveränderungen an sämtlichen Einzelelementen des Handskelettes und gesonderte Beobachtung der Sesambeine am Metacarpo-phalangealgelenk des Daumens.

Wie Munk (58) habe ich an folgenden neun Knochenkernen im Handwurzelbereich Messungen vorgenommen: os capitatum, os hamatum, Radiusepiphyse, Daumenepiphyse, os lunatum, os multangulum maius, os multangulum minus, os naviculare, Ulnaepiphyse. Schmid (23) hat auch für das os triquetrum und os pisiforme die Masse angegeben. Auf der dorso-volaren Aufnahme wurde aber das pisiforme in der Regel vom triquetrum überlagert und stellte sich für eine Messung zu unendlich dar. Andererseits wurden durch diese Überlagerung auch häufig die Konturen des triquetrum undeutlich, so dass ich auf seine Verwendung verzichtete. Für meine Untersuchungen genügten die neun oben angeführten Knochenkerne. Es ist schwierig, genau festzusetzen, welche Masse an den verschieden geformten Knochen genommen werden sollen. Munk (58) gebrauchte die Abmessung der grössten Höhe und der grössten Breite. Schmid (76) definiert etwas genauer: Die Messungen beziehen sich auf den grössten Höhendurchmesser (cranio-caudale Dimension) und den grössten senkrecht dazu stehenden Querdurchmesser (Breite = annähernd horizontale Dimension). Ich habe mich im grossen und ganzen an diese Methode gehalten. Doch lässt sie bei den unregelmässigen Formen der Carpalia manchmal verschiedene Möglichkeiten der Abmessung offen, die dann auch zu verschiedenen Ergebnissen führen könnten. Da ich die Röntgenogramme alle selbst auswertete, ist gewährleistet, dass bei allen Probanden die selben Masse gewonnen wurden. Es ist daher nicht nötig über die allgemeine Definition

Schmid's hinaus die Masse im einzelnen aufzuzählen. Ich habe den Reifestand des Handskelettes zusätzlich nach dem m. W. neuesten und besten Atlas der Handskelettentwicklung (Greulich und Pyle 28) bestimmt. Das sehr genaue Verfahren stützt sich auf den Vergleich des zu prüfenden Radiogramms mit Standardbildern in natürlicher Grösse. Dabei werden die Formveränderungen aller Teile des Handskeletts berücksichtigt; Neben den Handwurzelknochen die Carpalen und die Phalangen mit ihren Epiphysen, wobei der Entwicklungsgrad jedes Einzelteiles getrennt bestimmt werden kann. Jeder Röntgenaufnahme kann so ein bestimmtes Knochenalter (bone age) zugeordnet werden. Als absoluter Wert drückt es aus, wie alt die Kinder der dem Atlas zugrunde gelegten Versuchsreihen im Durchschnitt waren, wenn sie eben genau diesen Stand der Knochenentwicklung aufwiesen. Da aber sogar im gleichen Land die Entwicklungsgeschwindigkeit nach Regionen verschieden ist, hat, wie die Autoren selbst angeben, das Knochenalter grössere Bedeutung als Relativwert. Als solcher erlaubt es den Grad der Skelettentwicklung verschiedener Individuen einer Bevölkerungsgruppe miteinander zu vergleichen, ohne regionelle Verschiedenheiten im Entwicklungstempo zu vernachlässigen. Der Grad der Skelettentwicklung einer Röntgenaufnahme ist so durch das Knochenalter oder durch die Nummer desjenigen Standardbildes auszudrücken, dem sie bezüglich aller Reifungsveränderungen am ehesten entspricht. Ich habe, um Missverständnissen vorzubeugen die Stufen der Skelettentwicklung durch die fortlaufenden Nummern der Vergleichsbilder aus dem Atlas gekennzeichnet. Vom Zustand des ulnaren Daumensesambeines am Metacarpophalangealgelenk habe ich Vorhanden- bzw. Nichtvorhandensein und gegebenenfalls den grössten Durchmesser auf einen halben Millimeter genau notiert. Das radiale etwas später ossifizierende Sesambein habe ich nicht berücksichtigt, da es leicht vom Metacarpale I überlagert wird.

ERGEBNISSE

Ich habe zunächst die gesamten Ergebnisse für jeden Untersuchten aufgeführt (Tabelle 4). Die Fälle wurden nach dem Stand der Geschlechtsentwicklung auf Grund der somatoskopischen Entwicklungsdiagnose geordnet. Nummer 1 mit 5, in der ersten Gruppe, standen somatiskopisch noch in der Präpubertät. Nummer 6 mit 15 standen in der eben beginnenden Pubertät, auf der zweiten Stufe der Geschlechtsentwicklung. Die Knaben der dritten Gruppe, Nr. 16 mit 28 standen gerade in der ersten puberalen Phase. Die Knaben mit der Nr. 29 - 36 standen zwar noch in der ersten puberalen Phase waren aber in ihrer Körperentwicklung denen der dritten Gruppe deutlich voraus. Sie standen nach meiner Einteilung auf der vierten Stufe der Geschlechtsentwicklung. Auf der fünften Stufe standen die Knaben Nr. 37 mit 42, welche sich eindeutig in der zweiten puberalen Phase befanden. Die somatische Reife hatte, wie schon erwähnt, noch keiner der von mir untersuchten Knaben erreicht. Eine weitere Einteilung nach dem somatischen Reifungsgrad auch innerhalb der Gruppen an Hand der Entwicklungsformeln ist nicht möglich. Innerhalb der Gruppen habe ich, um ein bestimmtes System zu erreichen, nach dem Alter geordnet. Diese Einteilung hat keine besondere Bedeutung. Für jeden Untersuchten, gekennzeichnet durch seine Registriernummer, wurden in Tabelle 4 folgende Einzelergebnisse aufgeführt: Zunächst das Alter in Jahren und vollendeten Monaten, die Grösse in Zentimetern und das Körpergewicht in Kilogramm. In den nächsten sechs Rubriken folgen die Entwicklungsstufen für die somatischen Reifezeichen und zwar der Reihe nach für Mamille, Penis und Scrotum, Pubesbehaarung, Bartbehaarung, Axillarbehaarung und Stimmentwicklung. In neun weiteren Spalten sind die Messergebnisse aus dem Handröntgenbild angegeben: Für Capitatum, Hamatum, Radiusepiphyse, Daumenepiphyse, Lunatum, Multangulum maius, Multangulum minus, Naviculare, Ulnaepiphyse. In Millimetern ist jeweils zuerst die Breite, dann die Höhe (crania-caudale Dimension) angegeben. Es folgt die nach Greulich und Pyle (28) ermittelte Stufe der Skelettentwicklung, ausgedrückt durch die Nummer des entsprechenden Standardbildes in dem Atlas. In der letzten Spalte ist der grösste Durchmesser des ulnaren Sesambeines am Metacarpo-phalangealgelenk des Daumens angegeben, soweit es bereits differenziert war.

Stand der Geschlechtsentwicklung

Die Zahl der in diesem Rahmen möglichen Untersuchungen bei gleichen Altersgruppen ist selbstverständlich zu gering, um statistischen Wert zu besitzen. Nur an vielen Hunderten von untersuchten Fällen können allgemein gültige Normen der Entwicklung gewonnen werden. Das ist aber nicht das Ziel dieser Arbeit. Trotzdem muss ich einige meiner Ergebnisse mit Prozentzahlen ausdrücken, um sie mit anderen Arbeiten vergleichen zu können. Die Verteilung der 13 1/2 bis 14 jährigen Probanden auf die verschiedenen Entwicklungsstufen zeigt Tabelle 5. Von den

	Präpubertät	eben beginnende Pubertät	1. pub. Phase	2. pub. Phase
absolut	2	2	18	6
Prozent	7,1 %	7,1 %	64,3 %	21,4 %

TABELLE 5: Verteilung bei 28 Münchner Oberschülern von 13 1/2 bis 14 Jahren auf die Entwicklungsstufen.

14 Schülern der Altersstufe 12 1/2 bis 13 Jahre standen drei in der Präpubertät, acht in der eben beginnenden Pubertät und drei in der ersten Pubertätsphase. Wie Zeller (108) setzte ich als Norm für meine Versuchsreihe das Stadium der Entwicklung fest, in dem eine erhebliche Mehrzahl der betreffenden Altersgruppe stand. So ergab sich für mein Material: als normal entwickelt haben bei der Altersgruppe 12 1/2 bis 13 Jahre die zu gelten, die in der "eben geginnenden Pubertät" standen, bei den 13 1/2 bis 14 jährigen diejenigen, welche gerade in der ersten puberalen Phase standen. Tabelle 6 zeigt die Verteilung auf die drei Entwicklungsvarianten.

Alter:	12 1/2 - 13 Jahre	13 1/2 - 14 Jahre
retardiert	3	4 (= 14,2 %)
normal	8	18 (= 64,3 %)
akzeleriert	<u>3</u>	<u>6</u> (= 21,4 %)
insgesamt	14	28

TABELLE 6: Tempo der somatischen Entwicklung der 42 untersuchten Münchner Oberschüler.

Die Reihenfolge, in der die ersten Reifungszeichen auftraten, konnte man am besten bei den 14 Schülern im Alter von 12 1/2 bis 13 Jahren studieren, die in der Regel eben in die Pubertät eintraten. Ich stellte alle Befunde für jedes einzelne Reifungszeichen zusammen. Bei jedem Reifungszeichen überwog noch die kindliche Stufe, ausser bei "Penis und Scrotum", wo bereits die pubescente Stufe häufiger war. Die Pubesbehaarung stand bei 10 Knaben, die Entwicklung der Mamille bei 11 noch auf der kindlichen Stufe. Es folgte die terminale Behaarung von Bart und Axilla bei 12 Knaben auf der kindlichen Stufe und schliesslich die Stimmentwicklung, die bei 13 von den 14 Knaben noch nicht begonnen hatte. Die ersten Reifungszeichen traten also bei den von mir untersuchten Knaben, die gerade im Beginn der Pubertätsentwicklung standen, in folgender Reihenfolge auf: Entwicklung von Penis und Scrotum - Pubesbehaarung - Entwicklung der Mamille - beginnende Bart- und Axillarbehaarung - Stimmentwicklung. Diese Reihenfolge stimmt im wesentlichen mit den früheren Untersuchungen dieser Art überein (78, 83, 109).

Bei den 13 1/2 bis 14 Jahre alten Jungen, von denen der Grossteil mitten in der Pubertätsentwicklung stand, waren alle Zwischenstufen der Reifungszeichen vorhanden. Die Häufigkeit der einzelnen Stufen der sechs Entwicklungsmerkmale bei den 28 Knaben dieser Altersklasse zeigt Tabelle 7.

a) Mamille				b) Penis und Scrotum			
Stufe:	K	P	R	Stufe:	K	KP	PR R
absolut:	7	18	3	absolut:	4	14	9 1
Prozent:	25,0	64,3	10,7	Prozent:	14,3	50,0	32,1 3,6
c) Pubes				d) Bartbehaarung			
Stufe:	K	KP	PR R	Stufe:	K	P	R
absolut:	3	15	8 2	absolut:	18	10	0
Prozent:	10,7	53,6	28,6 7,1	Prozent:	64,3	35,7	0
e) Axillarbehaarung				f) Stimmentwicklung			
Stufe:	K	KP	PR R	Stufe:	K	P	R
absolut:	13	8	6 1	absolut:	18	7	3
Prozent:	46,4	28,6	21,4 3,6	Prozent:	64,3	25,0	10,7

TABELLE 7: Häufigkeit der Reifungsstufen für 6 Entwicklungsmerkmale bei 28 Oberschülern im Alter von 13 1/2 bis 14 Jahren.

Diese Tabelle gibt ein genaues Bild vom somatoskopisch erfassbaren Entwicklungsstand der untersuchten 13 1/2 bis 14 jährigen Oberschüler.

Vergleich mit anderen Untersuchungen.

Ich will nun diese eigenen Ergebnisse der somatoskopischen Entwicklungsdiagnose mit einigen früheren Arbeiten vergleichen. Dies soll einerseits der Kritik der eigenen Feststellungen dienen. Andererseits wird man etwaige Unterschiede auf veränderte Bedingungen zurückzuführen suchen und so zum Phänomen der oft erwähnten sozialen Abhängigkeit und der sogenannten säkularen Akzeleration Stellung nehmen können. Ich will mein Ergebnis den m. W. jüngsten Untersuchungen dieser Art in München von Michaelis (57) gegenüberstellen, der im Jahre 1956 den Entwicklungsstand von Volks- und Berufsschülern ermittelte. Leider lassen sich die Ergebnisse nicht direkt vergleichen, da Michaelis ganze Jahrgänge untersuchte, während ich der nötigen Genauigkeit wegen nur halbe Jahrgänge auswählte. Deutlicher als viele Zahlen zeigt die Verhältnisse eine graphische Darstellung (Abbildung 2). Zur Erläuterung ist zu sagen; Auf der Abszisse sind die 5 Stufen der Pubertätsentwicklung angegeben. Über jeder Stufe habe ich die prozentualen Anteile an diesen Reifungsstufen aufgetragen. Für die 13, 14 und 15 jährigen Volks- und Berufsschüler nach den Angaben von Michaelis und für meine 13 1/2 bis 14 jährigen Oberschüler die Werte aus Tabelle 5. Wir können aus Abbildung 2 folgendes entnehmen; Der Gipfel der gestrichelt gezeichneten Linie ist höher als der der Linie c, d. h., der Anteil der normal entwickelten Knaben, nämlich derer, die gerade in der ersten Pubertätsphase standen, ist bei meinem Material etwas höher (64, 3 %) als bei den 15 jährigen von Michaelis (63, 6 %). Abgesehen davon verläuft aber die gestrichelte Linie zwischen den Linien b und c. D. h., dass meine 13 1/2 bis 14 jährigen Knaben nicht, wie dem Alter entsprechend zu erwarten wäre im Grad der Entwicklung zwischen den von Michaelis gefundenen Werten für 13 und 14 jährige stehen, sondern vielmehr deutlich zwischen denen für 14 und 15 jährige. Unsere Oberschüler haben im Alter von 13 1/2 bis 14 Jahren den gleichen Stand der Geschlechtsentwicklung erreicht, wie die Volks- und Berufsschüler zwischen 14 und 15 Jahren. Die 1958/59 von mir untersuchten Münchner Oberschüler waren also in ihrer Pubertätsentwicklung den 1956 von Michaelis (44) untersuchten Münchner Volks- und Berufsschülern deutlich voraus. Genau ist die Differenz nicht zu bestimmen, da kein direkter Vergleich möglich ist, weil den Durchschnittswerten für ganze Jahrgänge bei Michaelis mein Ergebnis für einen halben Jahrgang gegenübersteht. Ich bin bei der Entwicklungsdiagnose genau wie Michaelis nach der Zeller'schen Methode vorgegangen. Der festgestellte Unterschied der Ergebnisse ist also nicht durch eine andere Methode bei der Bestimmung des Entwicklungsstandes zustande gekommen. Als Ursache für die schnellere Entwicklung bei meinem Material kommt kaum in Betracht, dass die Untersuchungen

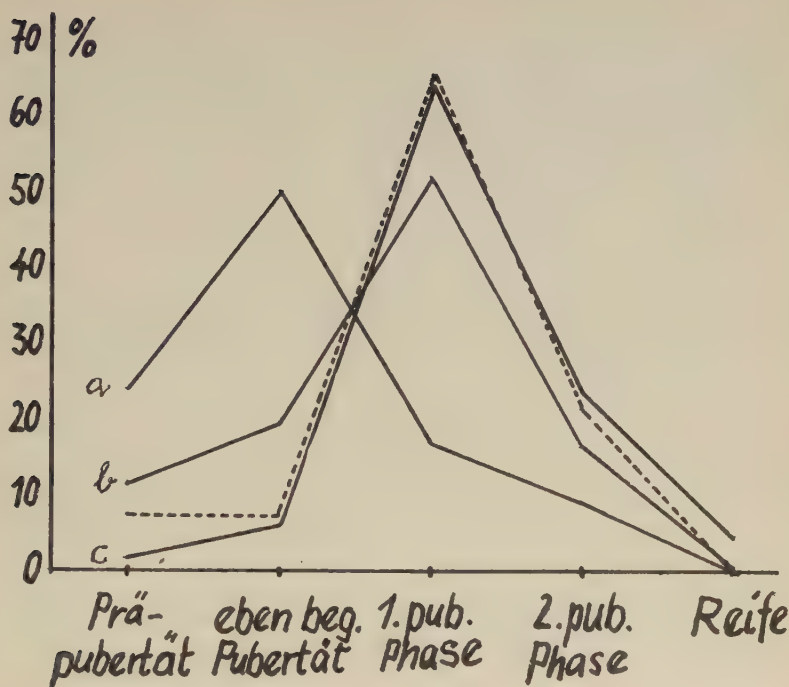


ABBILDUNG 2: Entwicklungsstand von Münchner Knaben

- Volks- und Berufsschüler 1956 von a) 13 Jahren
 b) 14 Jahren
 c) 15 Jahren
 ---- Oberschüler 1958/59 von 13 1/2 - 14 Jahren.

zwei Jahre auseinanderliegen, die Zeit wäre viel zu kurz für eine so deutliche Beschleunigung der Entwicklung, zumal darauf hingewiesen wurde, dass sich die säkulare Akzeleration seit 1951 verlangsamt hat (89). Auch handelt es sich bei beiden Untersuchungen um Grosstadtkinder, so dass auch die Stadt-Land-Theorie (Bennholdt-Thomsen) keine Erklärung liefern kann. Als einzige Ursache bleibt die verschiedene soziale Schichtung der beiden Versuchsreihen. Die 1956 untersuchten Volks- und Berufsschüler stammten durchwegs aus sozial weniger gut gestellten Bevölkerungsschichten. Mein Untersuchungsgut dagegen kam von einer höheren Schule und zum grössten Teil aus mittleren und guten Verhältnissen. Der bereits 1879 (zit. 2) beobachtete und immer wieder festgestellte (2, 25, 6, 31)

Entwicklungsvorsprung der Kinder aus sozial besser gestellten Schichten war also auch hier in München deutlich festzustellen.

Auch gegenüber einem Untersuchungsergebnis für 13; 6 bis 13; 11 jährige von 1939 (Zeller 108), mit dem ich mein Resultat bei den 13 1/2 bis 14 jährigen direkt vergleichen konnte, waren meine Probanden deutlich beschleunigt. Neben dem Unterschied in der sozialen Herkunft dürfte hier auch die säkulare Akzeleration zu dem Vorsprung meines Materials beigetragen haben.

Die Wachstumsverhältnisse

Die ermittelten Werte für Körperlänge und Körpergewicht sind in Tabelle 8 und Tabelle 9 wiedergegeben. Die im Durchschnitt um ein Jahr älteren Knaben sind

Altersgruppe	Zahl der Fälle	kleinster Wert cm	Mittelwert cm	grösster gemessener Wert cm
12 1/2 - 13	14	143	154,3	165
13 1/2 - 14	28	146	163,2	179

TABELLE 8: Körperlänge bei 42 Münchner Oberschülern

Altersgruppe	Zahl der Fälle	kleinster Wert kg	Mittelwert kg	grösster gemessener Wert kg
12 1/2 - 13	14	32,0	40,45	53,8
13 1/2 - 14	28	35,1	49,79	70,4

TABELLE 9: Körpergewicht bei 42 Münchner Oberschülern

cirka 9 cm grösser und 9 kg schwerer als die jüngeren. Es gibt wie für die Geschlechtsentwicklung keine allgemein gültige Norm für das Wachstum, nach der man diese Ergebnisse beurteilen könnte. Wie die Reifung der Geschlechtsmerkmale ist auch das Wachstumstempo milieubedingt (2, 43, 70, 28). Die unterschiedlichen Durchschnittswerte, die an verschiedenen Stellen in letzter Zeit für das Wachstum ermittelt wurden, zeigen, wie regional bedingt die Wachstumsverhältnisse sind. Ich habe deshalb Ergebnisse aus einem engeren Bereich zum Ver-

gleich herangezogen, um regionale Unterschiede so gut wie möglich auszuschalten. In Tabelle 10 habe ich meine Durchschnittswerte zwei Untersuchungsergeb-

Verfasser	Bereich	Alter (Jahre)	Grösse (cm)	Gewicht (kg)
eigene Untersuchungen	Münchner	12 1/2-13	154,3	40,5
1958/59	Oberschule	13 1/2-14	163,2	49,4
Michaelis	Münchner-Volks- und	13	154,3	--
1956 (57)	Berufsschulen	14	160,4	--
Bach 1955 (1)	Bundes-Jugendspiele	13	150,5	39,59
	in Bayern	14	156,7	44,66

TABELLE 10: Vergleich der Wachstumsverhältnisse in Bayern

nissen gegenüberstellt, die ebenfalls in neuerer Zeit in Bayern gewonnen worden waren. Der Vergleich ergibt: Die grössten Durchschnittswerte finden sich bei den Oberschülern der Grosstadt, es folgen die Volks- und Berufsschüler der Grosstadt, die kleinsten Werte zeigt das Durchschnittsergebnis aus ganz Bayern, in dem auch die gesamte Landjugend mit enthalten ist. Das höhere Wachstumstempo bei der Stadtjugend und hier wiederum bei den besseren sozialen Schichten ist bei diesem Vergleich von Durchschnittszahlen aus Bayern deutlich festzustellen.

Der Stand der Skelettreifung

Handwurzelabmessungen

Von allen Probanden wurde eine Röntgenaufnahme der linken Hand hergestellt. Nach der Methode, die auf Seite 33 beschrieben ist, wurden für jeden Knaben die Masse der Handwurzelknochen bestimmt. Die grössten und kleinsten gemessenen Werte, sowie die errechneten Mittelwerte sind in Tabelle 11 angegeben. Der Vergleich der beiden Altersgruppen zeigt, dass sämtliche gemessenen Handwurzelknochen bei den älteren Knaben in beiden Dimensionen um rund 10 % grösser waren als bei den jüngeren. Die Variationsbreite beträgt bei den meisten Abmessungen etwa ein Drittel des Mittelwertes. Besonders gross ist sie bei beiden Altersgruppen für Lunatum und Naviculare, für die Höhen ("H") der Radius- und Ulnaepiphyse und bei den 12 1/2 bis 13 jährigen ausserdem für die Daumenepiphyse. Einen auffälligen Unterschied zwischen den Handwurzelknochen und den beobachteten Epiphysen von Radius, Daumen und Ulna bezüglich ihrer Grössenzu-

a) Knaben 12 1/2 - 13 Jahre alt

	Cap.		Ham.		Rad.		Daum.		Lun.		M. mai.		M. min.		Nav.		Ulna	
	B	H	B	H	B	H	B	H	B	H	B	H	B	H	B	H	B	H
kl. W.	11	19	12	14	23	9	10	5	10	7	10	9	9	8	6	12	13	5
M.	12,7	21,4	14,2	16,4	26,0	10,8	12,0	5,8	13,0	8,8	12,3	10,2	9,6	9,3	8,0	15,7	14,9	6,3
gr. W.	15	25	16	20	30	15	14	7	16	11	14	11	11	11	10	19	18	8

b) Knaben 13 1/2 - 14 Jahre alt

	Cap.		Ham.		Rad.		Daum.		Lun.		M. mai.		M. min.		Nav.		Ulna	
	B	H	B	H	B	H	B	H	B	H	B	H	B	H	B	H	B	H
kl. W.	12	20	13	15	25	10	10	5	12	8	11	9	9	8	7	14	14	5
M.	13,7	22,8	15,2	18,1	28,6	13,7	13,4	6,0	14,7	9,6	13,4	11,1	10,4	10,3	9,6	19,0	16,4	8,3
gr. W.	17	27	19	21	33	18	16	8	19	12	16	14	12	12	13	26	19	10

TABELLE 11: Abmessungen der Handwurzelknochen an 42 Röntgenogrammen der linken Hand

H = Höhe (kraniokaudaler Durchmesser)

B = Breite (senkrecht zu H stehender Durchmesser)

nahme konnte ich nicht feststellen. Ebenso verhielten sich bei meinen Untersuchungen die Carpalia und Epiphysen bezüglich ihrer Grössenentwicklung ziemlich gleich zu anderen Entwicklungserscheinungen.

Es wäre interessant gewesen, die gefundenen Werte mit denen zu vergleichen, die Munk (58) bereits 1927 mit dieser Methode festgestellt hat. Das ist leider nicht möglich, da er nur jüngere Knaben untersuchte. Ich konnte dagegen meine Ergebnisse den Durchschnittswerten von Schmid (75, 76) gegenüberstellen, die dieser an einem grossen Material gewonnen hat (Tabelle 12). Ein direkter Vergleich war nicht möglich, da Schmid für das Alter zwischen 12 und 15 Jahren keine weiteren Angaben machte. Ich habe deshalb die Werte von Schmid für die

Alter:	Schmid		Eigene Untersuchungen		Schmid	
	12 Jahre		13 1/2 - 14 Jahre		15 Jahre	
Capitatum	11,6	19,2	13,7	22,8	12,1	20,8
Hamatum	12,7	15,7	15,2	18,1	13,6	16,8
Rad. Epiphyse	24,0	9,1	28,5	13,6	27,5	11,8
Daumenepiphyse	10,2	4,8	13,4	6,0	11,7	5,3
Lunatum	10,9	8,1	14,8	9,6	12,5	9,7
M. maius	10,5	9,0	13,4	11,1	12,8	10,5
M. minus	8,8	8,1	10,4	10,3	9,2	8,8
Naviculare	8,4	13,1	9,5	18,9	9,2	16,0
Ulnaepiphyse	11,2	7,4	16,3	8,2	13,8	7,8

TABELLE 12: Breite und Höhe der Handwurzelkerne in mm nach Schmid für 12 und 15 jährige und nach eigenen Untersuchungen für 13 1/2 - 14 jährige.

zwei Altersgruppen angegeben, zwischen denen altersmässig meine 13 1/2 bis 14 jährigen einzureihen waren. Es stellte sich heraus, dass meine Abmessungen nicht, wie demnach zu erwarten gewesen wäre in der Mitte zwischen denen für 12 und 15 jährige von Schmid lagen, sondern mit einer Ausnahme durchwegs seine Masse für 15 jährige noch übertrafen. Die Ursache für diese Differenz muss entweder in der Untersuchungsmethode oder beim untersuchten Material liegen. Der Unterschied ist bei allen Massen ziemlich konstant, dürfte also ausser bei der Höhe des Lunatum kaum auf ein verschiedenes Verfahren bei der Abmessung zurückzuführen sein. Eine methodische Ursache dieser konstanten Differenz könnte aber in der Aufnahmetechnik liegen. Da sich die Röntgenstrahlen von der Elektrode divergent ausbreiten, ist das Verhältnis der Grösse des Röntgenschnittens auf

dem Film zur wahren Grösse eines Objektes davon abhängig, wie weit Röhre und Objekt vom Film entfernt sind. Der Abstand der untersuchten Knochenelemente vom Film dürfte sich bei Handwurzelaufnahmen kaum wesentlich verändern. Dagegen hat Schmid für seine Untersuchungen einen Röhren-Filmabstand von 90 cm angegeben, während er bei uns nur 65 cm betrug. Dieser um 25 cm kleinere Röhrenabstand bedingt bei einem Objekt-Filmabstand von durchschnittlich 2 cm eine Vergrößerung des Röntgenschnitts um nur etwa 1 %. Auf Grund des geschilderten Unterschiedes in der Aufnahmetechnik ist also zu erwarten, dass meine Ergebnisse um etwa 1 % über denen von Schmid liegen. In Wirklichkeit ist aber die Differenz grösser. Mein Untersuchungsgut muss daher tatsächlich im Durchschnitt grössere Handwurzelkernmasse aufweisen als das Material Schmid's. Sicher stehen damit einige Faktoren im Zusammenhang, auf deren begünstigende bzw. nachteilige Wirkung auf die Skelettreifung schon frühere Untersucher aufmerksam wurden. In erster Linie dürften es Unterschiede in der bevölkerungsmässigen und sozialen Herkunft sein. Auch die säkulare Akzeleration der gesamten Entwicklung mag zu dem Vorsprung bei meinem Material beigetragen haben, da Schmid's Untersuchungen am Handskelett schon etwa zehn Jahre zurückliegen. In welchem Masse diese Faktoren im einzelnen für die fortgeschrittene Skelettentwicklung bei meinem Material verantwortlich sind, lässt sich nicht sagen. Sie lassen aber auf jeden Fall für mein Untersuchungsgut ein fortgeschrittenes Stadium erwarten und bestätigen damit die Gültigkeit meines Untersuchungsergebnisses trotz oder vielmehr gerade wegen dieses Vorsprungs.

Aufbereitung des Ergebnisses der Knochenmessungen

Da die Handwurzelossifikation mit anderen Reifungserscheinungen zu vergleichen sein soll, muss das Ergebnis der 18 Abmessungen durch ein einziges Zeichen ausgedrückt werden können. Der Vergleich mit einer gültigen ausführlichen Normtabelle ist nicht möglich, weil eine solche m. W. für die Zeit der Pubertät nicht existiert. Wir können aber für jeden Probanden feststellen, wie sich die Abmessungen zu den Mittelwerten verhalten, die ich für die beiden Altersgruppen meines eigenen Materials errechnet habe. Daraus ergäbe sich durch Einführen willkürlicher Grenzen die Möglichkeit, die Entwicklung eines Handskelettes als normal, beschleunigt oder verzögert zu bezeichnen. Es ist aber nicht nötig, die Entwicklungsvarianten wie bei der somatoskopischen Diagnostik in diese schematisierende Dreiteilung zu zwingen, da man es hier mit numerischen Werten zu tun hat. Nicht einzelne Messergebnisse können über den Stand der Handwurzelentwicklung unterrichten, sondern nur alle gefundenen Werte in ihrer Gesamtheit (75). Es muss daher eine Zahl gefunden werden, die das Verhalten der Gesamtheit dieser Werte präsentiert. Als solche schien mir eine Zahl am günstigsten, die angibt wie sich die Abmessungen auf einer Röntgenaufnahme zu den Mittelwerten der entsprechen-

den Altersgruppe verhalten. Ich habe sie folgendermassen ermittelt: Jeder Messwert einer Röntgenaufnahme wurde mit dem entsprechenden Mittelwert aus Tabelle 11 (Seite 44) verglichen und die Differenz als positive bzw. negative Abweichung notiert. Aus der Summe dieser Abweichungen zog ich das arithmetische Mittel. So erhielt ich für jede Handwurzel einen positiven oder einen negativen Wert. War der Wert 0, so hiess das: die Grössenentwicklung der Handwurzelknochen dieses Probanden entspricht im Durchschnitt den für die entsprechende Altersgruppe gefundenen Mittelwerten. Ein Wert mit positivem bzw. negativem Vorzeichen bedeutete, wieviele mm die Handwurzelmasse des betreffenden Probanden im Durchschnitt über bzw. unter den entsprechenden Mittelwerten lagen. Dieser Wert vermittelt also unmittelbar einen Eindruck von der Grössenentwicklung eines Handwurzelskelettes und eignet sich gut zum Vergleich mit anderen Entwicklungserscheinungen. Es tritt dabei natürlich nicht in Erscheinung, wenn bei einer Aufnahme eine Hälfte der Masse weit über und die andere Hälfte weit unter den Mittelwerten liegt, da es sich um eine Durchschnittszahl handelt. Dies kam aber erstens bei keinem meiner Fälle vor, grössere Abweichungen betrafen stets alle Abmessungen; zweitens ist, wie schon erwähnt wurde, der Reifungsstand nicht aus dem Verhalten einzelner oder einem Teil der Knochenelemente zu folgern, sondern möglichst aus allen Abmessungen im Handwurzelbereich. Die Durchschnittszahl hat den Vorteil, dass sie kaum verfälscht wird, falls einzelne Abmessungen auf einem Röntgenogramm aus irgend einem Grunde nicht möglich sind.

Beurteilung der Formveränderungen

Die Bestimmung des Grades der Skelettentwicklung nach Greulich und Pyle (28) war viel unkomplizierter, als die Abmessung der Handwurzelknochen und deren Auswertung. Die Autoren haben dem Atlas eine ausführliche Anleitung vorausgeschickt, die einem das ohnedies unschwierige Verfahren erleichtert. In einem gesonderten Abschnitt sind für alle Einzelteile des Handskelettes in ihrer zeitlichen Aufeinanderfolge die Formveränderungen bei zunehmender Reife ("maturity indicators") aufgeführt. Nicht nur die Knochenteile im Handwurzelbereich werden berücksichtigt, sondern auch die Metacarpalen und Phalangen samt ihren Epiphysen und deren Verschmelzen. Dabei kann jedes Einzelteil besonders beurteilt werden, was eine sehr exakte, differenzierte Diagnostik ermöglicht. Der Atlas enthält für das männliche Geschlecht 28 fortlaufend nummerierte Standardbilder in Altersabständen von drei Monaten bis zu eineinhalb Jahren, je nachdem, in welchem Tempo die Veränderungen in dem betreffenden Alter fortschreiten +). Ich brauchte bei meinen Untersuchungen folgende Standardtafeln:

+) In der Auflage 1960 sind bei den Knaben einige Standardtafeln eingeschoben und dadurch die Nummerierung verändert.

	19	20	21	22	23	24	25
Knochenalter:	10 J.	11 J.	12 J.	13 J.	14 J.	15 J.	15 J.
			6 Mon.	3 Mon.			6 Mon.

Ich habe schon früher darauf hingewiesen, dass dieses Knochenalter für meine Arbeit nur relativen Wert besitzt. Es ist nicht der Zweck der Vergleichstafeln, das absolute Knochenalter eines Probanden bestimmen zu können. Hierzu sind sie, wie die Autoren selbst angeben, nur bei den Kindern der Untersuchungsreihen anzuwenden, von denen sie gewonnen wurden. Auch innerhalb desselben Landes bestehen regionell Unterschiede im Ablauf der Reifungsvorgänge. Es können keine Standardwerte geschaffen werden, die für jede Gruppe zutreffen, ohne so weite Altersspannen zu bekommen, dass dies den Wert für die Einzelbeurteilung sehr herabsetzen würde. Der grosse allgemeine Wert der Standardtafeln liegt vielmehr in der Möglichkeit, durch sie den Grad der individuellen Skelettentwicklung exakt definieren und ihn so mit dem von anderen Kindern der gleichen Bevölkerungsgruppe vergleichen zu können. Es ist dabei prinzipiell gleichgültig, ob der jeweilige Stand der Skelettentwicklung mit der Nummer des Vergleichsbildes bezeichnet wird, dem das zu prüfende Handröntgenbild entspricht, oder mit dem entsprechenden Knochenalter aus jenen Versuchsreihen. Ich habe, um allen Missverständnissen vorzubeugen, die Bezeichnung der Reifungsstufe durch die Nummer des Standardbildes vorgezogen. Wenn das Handröntgenbild eines Probanden bezüglich des Reifungsstandes zwischen zwei aufeinanderfolgende Standardbilder einzuordnen war, ohne erheblich auf die eine oder andere Seite zu schwanken, habe ich das durch Zwischenstufen gekennzeichnet. Auf diese Weise ergab sich die Aufteilung der Ergebnisse in 13 Stufen, wobei die Zahlen die Nummern der Vergleichsbilder aus dem Atlas von Greulich und Pyle (28) angeben:

19 19/20 20 20/21 21 21/22 22 22/23 23 23/24 24 24/25 25

Für jeden Probanden ist in Tabelle 4 die Stufe der auf diese Weise ermittelten Skelettentwicklung angegeben.

Ein deutsches Untersuchungsergebnis dieser Art liegt m. W. zum Vergleich nicht vor. Die neuesten ausführlichen Untersuchungen dieser Art dürften jene der amerikanischen Autoren Greulich und Pyle (28) sein. Bei oberflächlichem Vergleich meiner Ergebnisse mit dem Knochenalter in jenem Atlas war festzustellen, dass die Skelettentwicklung bei meinem Material demgegenüber im Durchschnitt etwas verzögert war. Bei den 12 1/2 bis 13 jährigen war es etwas deutlicher als bei den 13 1/2 bis 14 jährigen. Obwohl diese in Amerika geborenen Kinder alle nord-europäischer Abstammung waren, sind sie in der Skelettentwicklung den Münchener Oberschülern (!) voraus. Es ist hier darauf hinzuweisen, dass ich die Ausgabe

des Buches aus dem Jahre 1950 zum Vergleich heranzog. 1959, nach Fertigstellung meiner Arbeit, erschien eine neue Auflage mit einigen Änderungen.

Sesambeine

Bei den 42 untersuchten Münchner Oberschülern war am Metacarpophalanlangealgelenk des Daumens ein Sesambein sichtbar:

mit 12 1/2 - 13 Jahren bei 6 von 14 Fällen (= 43 %)

mit 13 1/2 - 14 Jahren bei 25 von 28 Fällen (= 89 %)

Im Durchschnitt trat demnach bei meinem Material das erste Daumensesambein bei einem Alter von etwa 13 Jahren auf. Ich fand damit die meisten neueren Angaben über das Erscheinen des ersten Daumensesambeins beim Knaben (siehe Tabelle 3 Seite 24) bestätigt. Ich habe den Röntgenschaten des gut darstellbaren Sesambeines in der Sehne des adductor pollicis nachgemessen, wo es bereits vorhanden war, um feststellen zu können, ob seine Grössenentwicklung einen diagnostischen Wert besitzt. Der grösste Durchmesser ist auf einen halben Millimeter genau für jeden Probanden in Tabelle 4 mit aufgeführt. Das etwas später ossifizierende (28) und zunächst kleinere Sesambein in der Sehne des flexor pollicis brevis habe ich nicht berücksichtigt, da es in vielen Fällen vom Metacarpale I überdeckt und daher schwer zu beurteilen war.

In den Abbildungen 3a und 3b habe ich die Ergebnisse der 3 Verfahren zur Bestimmung der Skelettentwicklung bei jedem Probanden gegenübergestellt. Die Fälle sind nach dem Ossifikationsgrad des Daumensesambeines geordnet. Der Vergleich ergibt bei beiden Altersgruppen: Wie zu erwarten war, zeigen die Entwicklung der Reifemerkmale am Handskelett, die Grössenentwicklung der Handwurzelknochen und die Ossifikation des Daumensesambeines eine grobe Parallelität. Die Beziehungen der Sesambeinossifikation sind zum Reifezustand des gesamten übrigen Handskelettes (bei dessen Ermittlung nach Greulich und Pyle ich die Sesambeine ausgeschlossen habe) bei beiden Altersgruppen deutlich enger als zur Grössenentwicklung der Handwurzelknochen. Die letztere zeigt grosse Variationen bei gleichem Reifestand des Daumensesambeins und des gesamten Handskelettes. Da diese Variationen in einem Zusammenhang zu anderen Reifungserscheinungen, etwa zu den Wachstumsverhältnissen, stehen könnten, werde ich die Ergebnisse getrennt zum Vergleich heranziehen. Für die diagnostische Verwertbarkeit der Daumensesambeine spricht die Beobachtung, dass ein erhebliches Abweichen des Ossifikationsstandes von der Altersnorm stets Ausdruck einer Abweichung der gesamten Skelettentwicklung war. Mit einem Blick können so starke Unregelmässigkeiten im Entwicklungstempo des Skelettsystems festgestellt werden. Eine

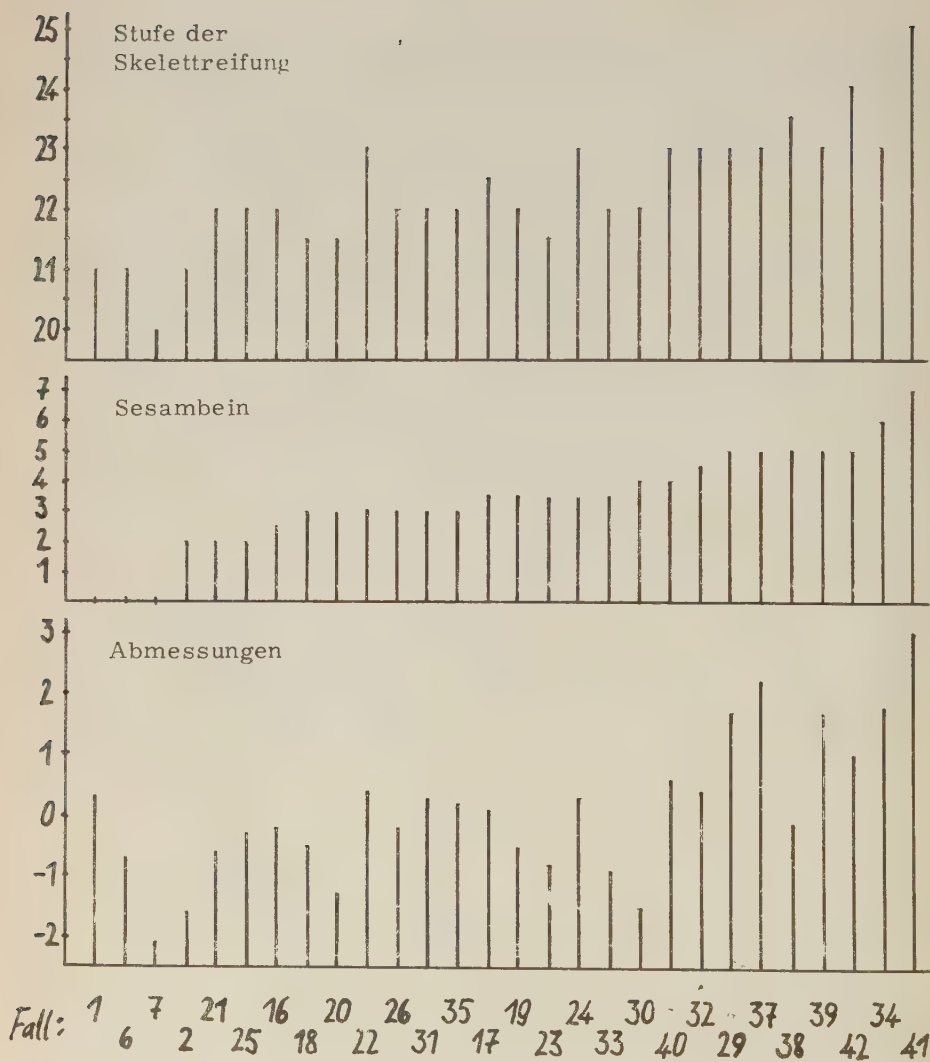
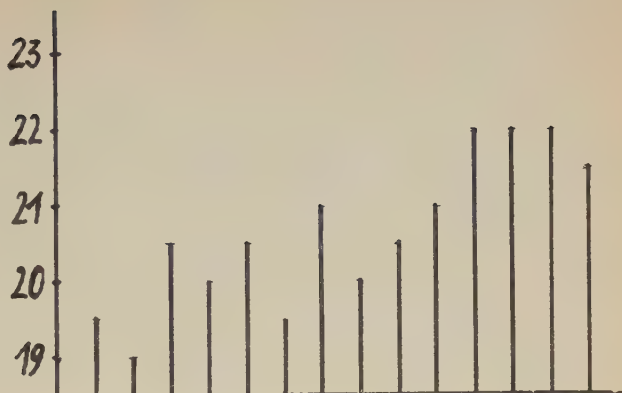


ABBILDUNG 3a

Stufe der
Skelettreifung
(siehe S. 47)



Sesambein-
durchm.



Abmessungen
(siehe S. 46)

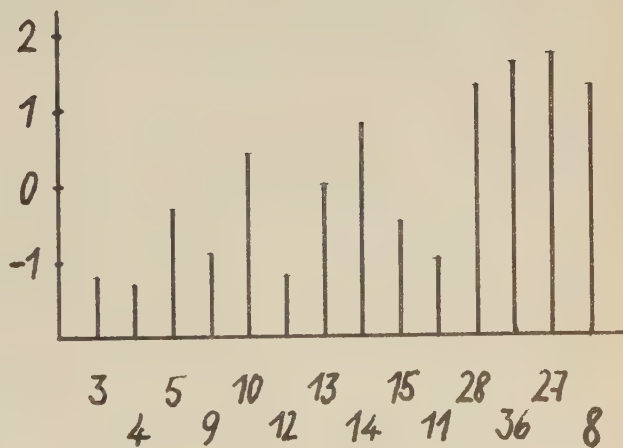


ABBILDUNG 3b

genaue Diagnostik wird aber nur durch die Beurteilung aller Einzelteile des Hand-skelettes möglich sein.

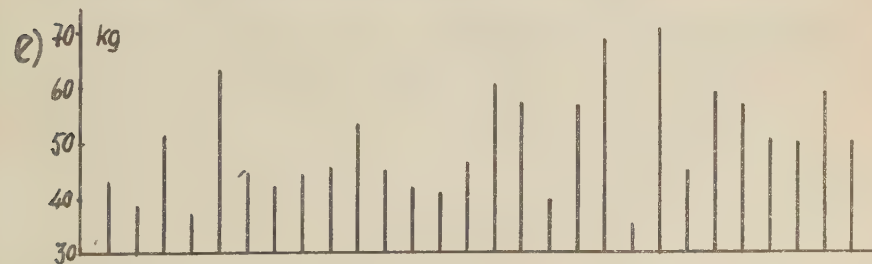
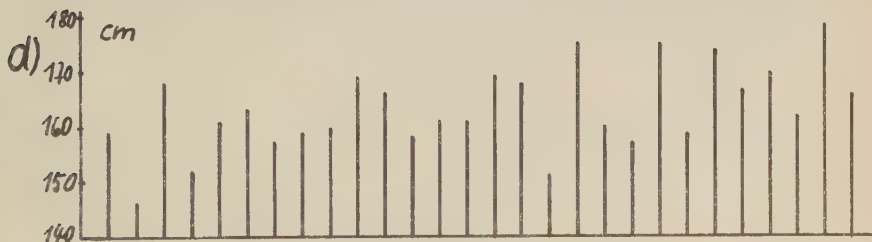
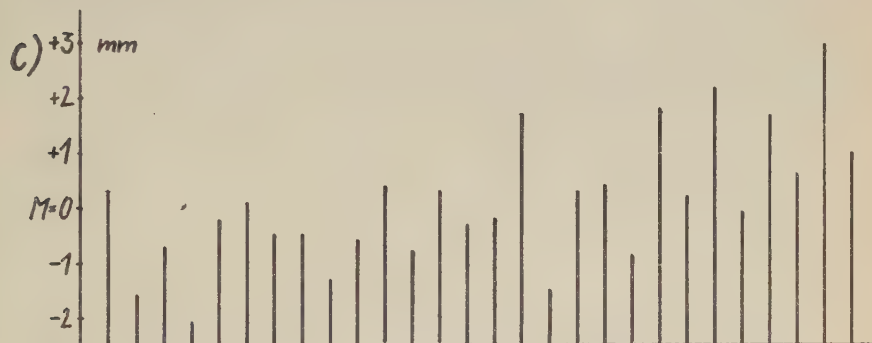
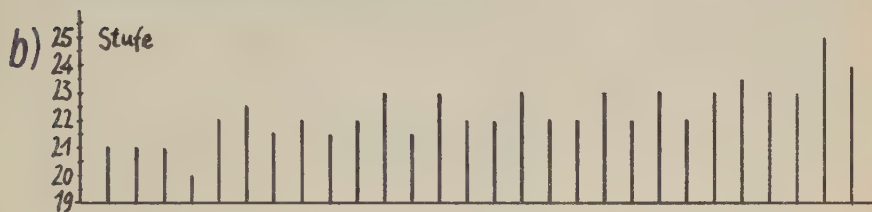
Vergleich der untersuchten Entwicklungserscheinungen

Das Ziel meiner Untersuchungen ist festzustellen, welche Beziehungen bei den beobachteten Fällen bestehen zwischen der Geschlechtsentwicklung, dem Wachstum und der Entwicklung des Skelettsystems. Ich habe auf den Abbildungen 4a und 4b für jeden Probanden senkrecht untereinander die gefundenen Werte für die beobachteten Entwicklungserscheinungen graphisch dargestellt.

- a) Die Stufe der Geschlechtsentwicklung, erfasst durch die somatoskopische Beurteilung der sichtbaren Geschlechtsmerkmale (siehe Seite 28); den Entwicklungsstand des Skelettsystems und zwar
- b) ermittelt nach der Methode von Greulich und Pyle (siehe Seite 47) und
- c) die Abmessung der Handwurzelknochen (siehe Seite 33);
die Wachstumsverhältnisse, repräsentiert durch die absoluten Werte der
- d) Körpergrösse und
- e) des Körpergewichts.

Die Fälle sind nach Tabelle 4 (Seite 36 und 37) nummeriert. Da der Zustand der untersuchten Reifungserscheinungen notgedrungen durch ganz verschiedene Mass- und Stufeneinteilungen ausgedrückt werden musste, ist die Höhe der Werte nicht unmittelbar zu vergleichen. Ausschlaggebend ist die relative Höhe eines Wertes, bezogen auf die übrigen Werte des gleichen Merkmals. Tabelle 4a zeigt die Verhältnisse bei unseren 28 $13 \frac{1}{3}$ bis 14 jährigen Knaben, die gerade mitten in der Pubertätsentwicklung standen. Von allen untersuchten Reifungserscheinungen war das Körpergewicht am wenigsten abhängig von der Stufe der Geschlechtsentwicklung. Die engste Beziehung zur Geschlechtsentwicklung zeigte eindeutig die Knochenreifung, ermittelt nach Greulich und Pyle (28). Hier entsprachen der 5. Stufe der Geschlechtsentwicklung ("akzeleriert") konstant überdurchschnittliche, der ersten und zweiten Stufe ("retardiert") stets unterdurchschnittliche Werte. Auch die Grössenentwicklung der Handwurzelknochen war in einem gewissen Grade vom Stand der Geschlechtsentwicklung abhängig. Dies ist nicht anders zu erwarten, da das Messergebnis der Handwurzelknochen mit dem Reifegrad des Skelettsystems zusammenhängt, wie auch Abbildung 3 zeigt. Es scheint aber, dass die Grössenentwicklung der Handwurzelknochen in einigen Fällen enger mit den Wachstumsverhältnissen zusammenhängt, als der Reifegrad des Skelettsystems, z.B. bei den Fällen 1 und 3. Auf Abbildung 4b sind die Reifungserscheinungen der

Fall: 1 2 6 7 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 29 30 31 32 33 34 35 37 38 39 40 41 42

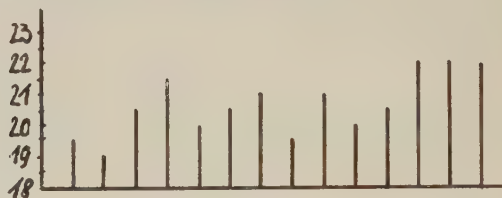


Fall: 3 4 5 8 9 10 11 12 13 14 15 27 28 36

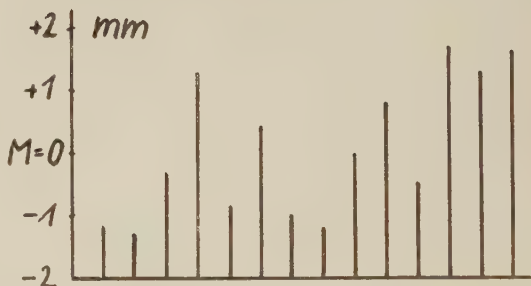
a) Stufe der Geschlechtsentwicklung



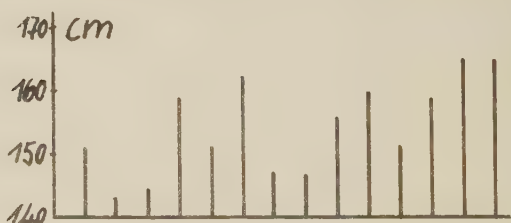
b) Stufe der Skelettreifung



c) Grössenentwicklung der Handwurzelknochen (M = Mittelwert der Altersstufe)



d) Körpergrösse



e) Körpergewicht

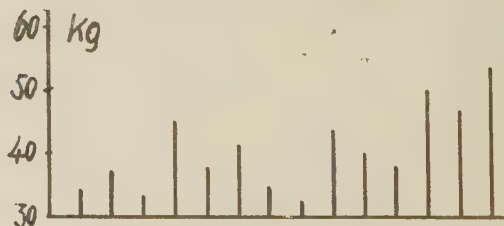


ABBILDUNG 4b

12 1/2 bis 13 jährigen Jungen, die im allgemeinen eben am Beginn der Pubertätsentwicklung standen, graphisch dargestellt. Hier sind die Verhältnisse ähnlich wie bei den älteren Jungen, in einigen Fällen ist m. M. auch hier der Zusammenhang zwischen Grössenentwicklung der Handwurzelknochen und Körpergrösse deutlich. Nach der Stufe der Geschlechtsentwicklung konnte ich meine Probanden einer Altersgruppe in akzeleriert, normal und retardiert entwickelnde trennen. So ist es nunmehr möglich, für die Kollektivgruppen dieser drei Entwicklungsformen die Durchschnittswerte für die Wachstumsverhältnisse und den Reifezustand des Skelettes zu bestimmen. Dabei werden zwar die Verhältnisse beim einzelnen vernachlässigt, dafür können aber allgemeine Tendenzen deutlicher aufgezeigt werden. In Tabelle 13 sind für jedes Kollektiv die Durchschnittswerte meiner Untersuchungsergebnisse für die einzelnen Reifungserscheinungen zusammengestellt:

a) 12 1/2 - 13 jährige Knaben

Geschlechtsentwicklung	Grösse cm	Gewicht kg	Knochenentwicklung +/-
retardiert	146	34,6	20
normal	154	39,0	20/21
akzeleriert	163	50,2	22

b) 13 1/2 - 14 jährige Knaben

Geschlechtsentwicklung	Grösse cm	Gewicht kg	Knochenentwicklung +/-
retardiert	156	42,4	20/21
normal	163	49,9	22
akzeleriert	170	54,3	23/24

TABELLE 13

+/- Stufeneinteilung siehe Seite 48

Beim Vergleich der beiden Tabellen ist festzustellen, dass die Werte der akzelerierten entwickelten jüngeren Knaben sehr denen der normal entwickelten, um ein Jahr älteren Knaben gleichen. Ebenso sehen wir bei den retardierten älteren Probanden ganz ähnliche Durchschnittswerte, wie bei den normal entwickelten 12 1/2 bis 13 jährigen. Wir finden also zusammen mit der Geschlechtsentwicklung beim Kollektiv jeweils auch das Körperwachstum und die Knochenentwicklung verändert und zwar ungefähr in derselben Masse, da der Unterschied jeweils einen normalen Jahreszuwachs ausmacht.

Wie eng gerade bei den 13 1/2 bis 14 jährigen Knaben, welche eben mitten in der Pubertätsentwicklung standen, die Skelettentwicklung mit dem Stand der Geschlechtsreifung verbunden war, veranschaulicht Abbildung 5. Sie zeigt die Variationsbreite des Skelettentwicklungsstandes (ermittelt nach Greulich und Pyle 28)

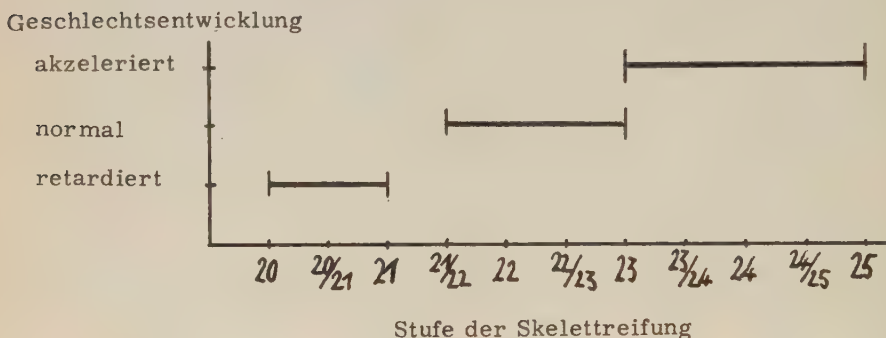


ABBILDUNG 5

bei den drei Verlaufsformen der Geschlechtsreifung, in die ich mein Material eingeteilt habe. Die Befunde überschneiden sich nur zwischen "normal" und "akzeleriert", da der mit "23" bezeichnete Skelettentwicklungsstand bei beiden Entwicklungsvarianten vorkam. Im übrigen entspricht aber jedem Grade der Skelettentwicklung bei dieser Altersgruppe ein ganz bestimmter Stand der Geschlechtsentwicklung. Der Zusammenhang der beiden Reifungserscheinungen ist hier so eng, dass aus dem Zustand einer der beiden zuverlässig das Verhalten der anderen zu bestimmen wäre.

Der Vergleich der untersuchten Entwicklungserscheinungen bei 42 Münchner Oberschülern hat also zusammenfassend ergeben: Bei gleichem Alter bestand ein Zusammenhang zwischen Geschlechtsentwicklung, Wachstum und Skelettreifung. Am engsten war die Beziehung zwischen der Skelettreifung und der Geschlechtsentwicklung. Im Kapitel "Pubertät und innere Sekretion" habe ich die Wirkung der Androgene auf die Geschlechtsentwicklung (103), den puberalen Wachstumsschub (39) und auf die Skelettreifung (97) herausgestellt. Schwenk (81) konnte feststellen, dass frühreifende Jungen durchwegs höhere und früher ansteigende Androgenproduktion aufweisen, angezeigt durch die 17 Keto-Steroidausscheidung. Diese Beobachtungen erlauben die Annahme, dass die Menge der produzierten Androgene die Erscheinungen der Pubertätsentwicklung modifiziert. Durch die Mehrproduktion von Androgenen ist die gemeinsame Beschleunigung der Geschlechts-

und Skelettentwicklung zu erklären, nicht eine grössere endgültige Körperlänge der Akzelerierten. Bei pathologischer Androgenüberproduktion wird nämlich die normale Körpergrösse nicht erreicht. Es muss daher angenommen werden, dass der Wachstumsschub in der Pubertät gemeinsam mit den Androgenen noch durch andere Stoffe stimuliert wird, etwa durch das STH, wie Wilkins (104) annimmt.

ZUSAMMENFASSUNG

In vorliegender Arbeit wurde versucht, die Zusammenhänge zwischen Geschlechtsentwicklung, Wachstum und Skelettreifung bei verschiedenem Tempo des Pubertätsablaufs zu klären.

Da vom innersekretorischen System die Reifungsvorgänge und das Wachstum in der Pubertät gesteuert werden, habe ich zunächst die bisherigen Kenntnisse von den beteiligten Hormonen und ihren Wirkungen beim Knaben dargelegt. Der Hypophysenvorderlappen produziert das somatotrope Hormon, welches direkt und spezifisch das Wachstum anregt, sowie verschiedene andere am Pubertätsgeschehen beteiligte Hormone, die indirekt über dazwischengeschaltete innersekretorische Drüsen wirken. So werden die Schilddrüse, die Nebennierenrinde und die Gonaden durch spezifische "glandotrope Hormone" zum Wachstum und zur Sekretion angeregt. Während das Schilddrüsenhormon Wachstum, Reifung und Stoffwechsel begünstigt (97, 46), bewirken die Testis- und Nebennierenrindenandrogene beim Knaben die Ausbildung der primären und sekundären Geschlechtsmerkmale und die Skelettreifung. Nach neueren Untersuchungen haben die Androgene darüber hinaus als echte Wachstumshormone zu gelten (33, 64) und sind für das Zustandekommen des puberalen Wachstumsschubes mit verantwortlich. Ihre Wirkung auf die Skelettreifung ist aber stärker als auf das Längenwachstum (97). So kommt es bei Androgenüberproduktion durch Epiphysenschluss zum Wachstumsstillstand noch ehe die normale Körpergrösse erreicht ist (64). Bei den Variationen der normalen Pubertät fand man dagegen für die Frühreifenden einerseits höhere Ausscheidung der Stoffwechselprodukte der Androgene (81), jedoch eine grössere endgültige Körperlänge (59). Wie diese zustande kommt, ist zunächst nicht zu erklären. Auf Grund der hormonellen Verhältnisse ist jedenfalls ein Zusammenhang zwischen Skelettreifung und Geschlechtsentwicklung zu erwarten, da beide Vorgänge wesentlich durch die Androgene beeinflusst werden.

Auf das Phänomen der säkularen Akzeleration der gesamten Jugend wurde hingewiesen und kurz die Haupttatsachen und die wichtigsten Erklärungsversuche dargelegt.

Meine eigenen Ergebnisse stützen sich auf Untersuchungen an insgesamt 42 Knaben aus einer höheren Schule in München. Es wurden 28 Knaben des Alters von 13 1/2 bis 14 Jahren ausgesucht, da nach verschiedenen Angaben in diesem Alter alle Übergangsstufen der Reifungszeichen zu erwarten waren. Um einen Einblick in das Tempo der untersuchten Reifungsvorgänge in dem gewählten Milieu zu erhalten, habe ich aus demselben Bereich noch 14 Knaben ausgesucht, die genau ein Jahr jünger als die ersteren, nämlich 12 1/2 bis 13 Jahre alt waren. Die Knaben stammten überwiegend aus guten sozialen Verhältnissen.

Der Stand der Geschlechtsentwicklung wurde nach der Methode der somatoskopischen Entwicklungsdiagnose von Zeller (107, 108, 109) ermittelt. Ich beschränkte mich auf die Beurteilung der Reifungszeichen: Mamille, Penis und Scrotum, Pubesbehaarung, Axillarbehaarung, Bartbehaarung und Stimmentwicklung und bezeichnete die Stufen nach Schmidt-Voigt (77, 78, 79) mit Buchstaben: K = kindliche Stufe, P = puberale Stufe, R = Reifestufe und die Übergangsformen KP und PR. Der Stand der Geschlechtsentwicklung jedes Knaben war so durch 6 Zeichen definiert, er war einer der 5 Stufen zuzuordnen, in die ich die Pubertätsentwicklung aufteilte. Die Mehrzahl der 12 1/2 bis 13 jährigen stand auf der Stufe der eben beginnenden Pubertät, die Mehrzahl der 13 1/2 bis 14 jährigen in der ersten Pubertätsphase. Auf Grund dieses Ergebnisses konnte ich die Knaben beider Altersgruppen bezüglich der Geschlechtsentwicklung in retardierte, normale und akzelerierte einteilen. Bei den 28 13 1/2 bis 14 jährigen waren 4 als retardiert, 18 als normal entwickelt und 6 als akzeleriert zu bezeichnen, von den 14 jüngeren waren 3 akzeleriert, 8 normal entwickelt und 3 retardiert. Der Vergleich mit den Untersuchungsergebnissen an Münchner Volks- und Berufsschülern (Michaelis 1956) zeigte, dass meine Probanden in ihrer Geschlechtsentwicklung deutlich voraus waren, was in erster Linie dem besseren sozialen Milieu zuzuschreiben war. Der fördernde Einfluss des besseren sozialen Milieus auf die Geschlechtsentwicklung (2, 25, 6, 31) konnte damit erneut festgestellt werden.

Die Wägung und Messung der Knaben zur Ermittlung der Wachstumsverhältnisse ergab: die 12 1/2 bis 13 jährigen Knaben waren im Durchschnitt 154,3 cm gross und 40,45 kg schwer, die 13 1/2 bis 14 jährigen 163,2 cm gross und 49,97 kg schwer. Auch für das Wachstum waren die Werte meines Materials sehr hoch im Vergleich zu anderen Untersuchungen, wie es die Auswahl von Oberschülern einer Grossstadt nicht anders erwarten liess.

Viele Gründe sprechen für die Verwendung des Handskelettes als Indikator der Skelettreife. In einem eigenen Kapitel wurden die Methoden und Ergebnisse früherer Arbeiten dargelegt. Da mit dem os pisiforme im 10. Lebensjahr der letzte Mittelhandknochen ossifiziert, bleiben für die Zeit der Pubertät folgende Möglichkeiten, vom Handskelett den Reifestand des gesamten Skelettsystems abzulesen:

- 1) die Abmessung der Knochen im Handwurzelbereich (58, 44, 75, 76);
- 2) die Beurteilung nach den auf dem Röntgenfilm sichtbaren Formveränderungen aller Einzelelemente des Handskelettes (28);
- 3) die Beobachtung der Sesambeine am Metacarpophalangealgelenk des Daumens, wo auch in diesem Alter noch neue Knochenkerne auftreten (17).

Diese 3 Methoden erfassen verschiedene Faktoren der Skelettreife. Um eine zuverlässige Auskunft über den Stand der Skelettentwicklung jedes Probanden zu be-

kommen, habe ich die Röntgenaufnahme nach allen drei Methoden beurteilt. Aus den Abmessungen der Handwurzelknochen habe ich für beide Altersgruppen die Durchschnittswerte errechnet (Tabelle 11). Sie lagen wegen eines Unterschiedes in der Aufnahmetechnik und wegen der Verschiedenheit des Materials durchwegs höher, als jene von Schmid (75, 76). Um die Ergebnisse der Abmessungen bei meinen Probanden einer Altersgruppe bequem miteinander vergleichen zu können, musste ich sie in einem einzigen Wert ausdrücken. Ich errechnete deshalb für jedes Radiogramm, wie sich die Abmessungen im Durchschnitt zu meinen Mittelwerten verhielten. Die Beurteilung des Reifestandes am Handskelett nach dem Atlas von Greulich und Pyle (28) erwies sich als einfach, zeitsparend und zuverlässig. Während dem von mir untersuchten Alter stützt sie sich hauptsächlich auf die Beobachtung der röntgenologisch feststellbaren Formveränderungen aller Einzelteile des Handskelettes. Da das dort angegebene "Knochenalter" für meine Arbeit nur relativen Wert besitzt, habe ich, um Missverständnissen vorzubeugen, den Entwicklungsstand eines Handskelettes durch eine einfache Zahl bezeichnet. Zu diesem Zweck sind die Vergleichsbilder in dem Atlas fortlaufend nummeriert. Das erste Sesambein am Metacarpophalangealgelenk des Daumens trat bei den von mir untersuchten Knaben etwa mit 13 Jahren auf. Eine erhebliche Abweichung seines Ossifikationsstandes vom Altersdurchschnitt war stets Ausdruck einer Abweichung der gesamten Skelettentwicklung. Nach meiner Beobachtung können also grobe Veränderungen in der Skelettreifung aus dem Verhalten des Daumensesambeins allein diagnostiziert werden. Für die genauere Beurteilung wird jedoch die Prüfung vieler Einzelelemente nicht zu entbehren sein.

Nach der eingehenden Untersuchung von Geschlechtsentwicklung, Wachstum und Skelettreifung im einzelnen, konnte ich sie schliesslich in den 42 beobachteten Fällen miteinander vergleichen. Es war eine gewisse Parallelität der drei Vorgänge festzustellen. Bei den Kollektiven mit akzelerierter bzw. retardierter Geschlechtsentwicklung einer Altersgruppe waren auch Wachstum und Skelettreifung etwa in demselben Grade fortgeschritten bzw. zurückgeblieben (Tabelle 13). Die engste Beziehung bestand deutlich auch im Einzelfalle zwischen Geschlechtsentwicklung und Skelettreifung. Jeder Stufe der Skelettreifung, mit einer Ausnahme, entsprach nur eine ganz bestimmte Form der Geschlechtsentwicklung. Nach dieser Feststellung ist also der Zusammenhang der beiden Reifungserscheinungen so eng, dass aus dem Zustand der einen das Verhalten der anderen zuverlässig zu bestimmen ist. Die Grössenentwicklung der Handwurzelknochen verhielt sich nicht so einheitlich wie der nach Greulich und Pyle (28) ermittelte Skelettreifungsstand, sondern schien in einigen Fällen mehr vom allgemeinen Körperwachstum abzuhängen. Am wenigsten war das Körpergewicht vom Stand der Geschlechtsentwicklung und Skelettreifung abhängig.

Die Skelettreifung und die Geschlechtsentwicklung sind Teilfunktionen der körperlichen Reifung. Als solche hängen sie ab vom Reifestand der Gonaden, von wo aus sie durch die gleichen Hormone angeregt werden. So kommt es zu dem engen Zusammenhang der beiden Reifungserscheinungen, der bei dem Vergleich am Jugendlichen selbst festgestellt wurde. Das Wachstum läuft diesen Reifungserscheinungen parallel, es wird auch zumindest teilweise von denselben Wirkstoffen gesteuert. Führt aber eine Akzeleration der Pubertätsentwicklung tatsächlich zu grösseren endgültigen Körpermassen, so ist das bei dem erwiesenen engen Zusammenhang der Reifungsvorgänge nur durch einen Faktor zu erklären, der eine andere Wirkung hat als die Androgene.

LITERATURVERZEICHNIS

- 1) Bach, F.: Ergebnisse von Massenuntersuchungen über die sportliche Leistungsfähigkeit und das Wachstum Jugendlicher in Bayern. München 1955
- 2) Backmann, G.: Das Wachstum der Körperlänge des Menschen. Stockholm 1934
- 3) Behrendsen: Studien über die Ossifikation der menschlichen Hand... Deutsche Med. Wschr. Bd. 23 S. 433 (1897)
- 4) Bennholdt-Thomsen, C.: Über die Akzeleration der Entwicklung der heutigen Jugend. Klin. Wschr. 17, 865 (1938)
- 5) derselbe und Schmidt-Voigt, J.: Klin. Wschr. 19, 1337 (1940)
- 6) Bennholdt-Thomsen, C.: Die somatische Entwicklung des Grosstadtkindes; in: v. Eickstedt, Bevölkerungsbiologie der Grossstadt. Stuttg. 1941
- 7) derselbe: Die Entwicklungsbeschleunigung der Jugend. Erg. inn. Med. 62, 1153 (1942)
- 8) derselbe: Wachstumsprobleme Mschr. f. Kinderhk. 97, 101 (1949)
- 9) derselbe: Über das Akzelerationsproblem. Z. menschl. Vererb. u. Konst. Lehre 30, 619 (1952)
- 10) derselbe: Mschr. Kinderhk. 103, 43 (1955)
- 11) Biedl, A.: Zur Charakteristik der Pubertät. Mschr. Kinderhk. 31, 347 (1926)
- 12) Bober, H. und Scholz, E.: Das Reifungsgeschehen bei Jugendlichen. Z. f. Rassenk. Band 14 (1944)
- 13) Brandt, K-H.: Diss. Göttingen 1954
- 14) Bustamente, M., Spatz, H. und Weisschedel, E.: Deutsche med. Wschr. 68, 298 (1942)
- 15) Cocchi, U.: Wuchs- und Reifestörungen; in: Schinz-Baensch, Lehrb. der Röntgendiagnostik Bd. 2 Stuttgart 1952

- 16) Cotelessa und De Toni: La pediatria LXI 48 Napoli (1953)
- 17) Degen, St.: Über das Auftreten der Knochenkerne am Hand-
skelett von der Geburt bis zur Reife. Mit einem
Hinweis auf die Sesambeine der Hand. Med. Klin.
50, 1331 (1950)
- 18) Dennig, H.: Lehrbuch der inneren Medizin. Stuttgart 1957
- 19) Doebner, Th.: Diss. Berlin 1953
- 20) Falta: Wiener klin. Wschr. I, 769 (1932)
- 21) Fanconi und Wallgren: Lehrbuch der Pädiatrie. Basel-Stuttgart 1958
- 22) Freund, J.: Zschr. f. Kh. 67, 592 (1950)
- 23) derselbe und Maier, E.: Zur Ätiologie der Entwicklungsbeschleunigung.
Zschr. f. Kh. 71, 1
- 24) Fürst:
- 25) Geissler, O.: Oeff. Ges. dienst I, 201, 217 (1934)
- 26) Goett, Th.: in: Lehrb. der Röntgenkunde von H. Rieder u.
J. Rosenthal, Bd. II 1925
- 27) Grashey, R. und Birkner, R.: Atlas typischer Röntgenbilder vom Menschen.
München - Berlin 1955
- 28) Greulich, W.W. und Pyle, S.J.: Radiographic atlas of skeletal development
of the hand and wrist. Stanford University Press
1950
- 29) Gruber, W.: Über die sekundären Handwurzelknochen des Men-
schen. Arch. f. Anatomie, Physiologie u. wiss.
Med. Jg. 1866 S. 565
- 30) Günther, H.: Endokrinologie 28, 52 (1951)
- 31) Hagen, Coerpper und Thomae: Nachkriegskinder
- 32) Hasselwander, A.: Die Röntgenstrahlen in der Anatomie; in: Lehrb.
d. Röntgenkunde v. Rieder-Rosenthal, Bd. II 1925
- 33) Heidinger, Chr.: in: A. Labhart: Klinik der inn. Sekretion 1957
- 34) Heimann, A. und Potpeschnigg, K.: Über die Ossifikation der kindlichen
Hand. Jahrb. f. Kh. u. phys. Erziehung, Bd. 65,
H. 4, S. 437 (1907)

- 35) Hellsch, W.: Mensch und Volk der Grosstadt. Stuttgart 1952
- 36) Hohenner, K.: Jb. d. Kh. 135, 541 (1932)
- 37) Hoppe, G.: in: Nachkriegskinder (31)
- 38) Hosemann, H.: Arch. f. Gynäkologie 176, 109 und 124 (1949)
- 39) Kinsell: zit. in: Brock, Biol. Daten für den Kinderarzt
- 40) Kinsey, A.G.: zit. bei Freund-Maier (23)
- 41) Kniest, W.: Mschr. f. Kh. 100, 256 (1952)
- 42) derselbe: Kinderärztl. Prax. 22, 379 (1954)
- 43) Koch, E.W.: Über die Veränderung des menschl. Wachstums im ersten Drittel des 20. Jahrh. 1935
- 44) Kornfeld, W.: Handwurzelossifikation und Habitusentwicklung in den ersten 4 Lebensjahren. Zschr. f. Kh. 58, 388 (1937)
- 45) Kwint, L.A.: Zschr. f. Kh. 39, 575 (1925)
- 46) Labhart, A.: Klinik der inneren Sekretion. 1957
- 47) Lachner, O. und Wernet, H.: Zur Physiologie der sexuellen Reifung. Wiener med. Wschr. 102, 864 (1952)
- 48) v. Lanz, T. und Wachsmut, W.: Praktische Anatomie, Bd. Arm. Berlin 1955
- 49) Leiber, B.: Mschr. f. Kh. 100, 259 (1952)
- 50) Lenz, W.: Zschr. f. Geb.hilfe 126, 33 (1943)
- 51) derselbe: Ernährung und Konstitution. München - Berlin 1949
- 52) derselbe: Die Veränderungen des menschlichen Wachstums. Homo 2, 20 (1951)
- 53) derselbe: Wachstum; in: Brock, J. Biologische Daten für den Kinderarzt. Berlin - Göttingen & Heidelberg 1954
- 54) Lust, Pfaundler:
- 55) Martin, R. und Du Pan: Tables de mensurations des tailles et poids de la naissance a 20 ans... Schweiz. Ärztezeitung Jg. 35 Nr. 1, S.2 Bern 1954

- 56) Mattiash, H.H.: Pubertätsverlauf und Störungen der Skelettentwicklung. Zschr. f. Orthop. 86, 410 (1955)
- 57) Michaelis, R.: Diss. München 1958
- 58) Munk, A.: Kerngrößen der Handwurzelknochen bis zur Pubertät. Arch. f. Kh. 80, 125 (1927)
- 59) Neurath, R.: Zschr. Kh. 19, 209 (1919)
- 60) Nowakowsky, H. und Gadermann, E.: Verh. der deutsch. Ges. f. inn. Med. 58, 400 (1952)
- 61) Pernkopf, E.: Topographische Anatomie d. Menschen. Berlin - Wien 1937
- 62) Portmann, A.: Biologische Fragmente zu einer Lehre von Menschen. Basel 1951
- 63) Prader, A.: Hypogonadismus beim Knaben. Schweiz. Med. Wschr. Nr. 31, S. 737 (1955)
- 64) derselbe: in Labhart: Klinik der inneren Sekretion, 1957
- 65) Pryor, J.W.: Bilateral symmetry as seen in ossification. Am. Journal of Anatomy 58, 87 (1930)
- 66) Ray, R., Evans und Becks: Am. J. Path. 17, 509 (1941)
- 67) Reifenstein, E.C. u.a.: Journal of clin. Endocrin. 6, 470 (1946)
- 68) Rosenstern, J.: Über die körperliche Entwicklung in der Pubertät. Erg. inn. Med. u. Kh. 41, 789 (1931)
- 69) Ruckensteiner, E.: Die normale Entwicklung des Knochensystems im Röntgenbild. Leipzig 1931
- 70) Rücker: Sportmed. Jg. 5, S. 53 (1954)
- 71) Sawtel, R.O.: Assification and Growth of children from one to eight years of age. Am. J. of Dis. of Children 37, 61 (1929)
- 72) Schäfer: Pädiatrischer Röntgenatlas
- 73) Schinz, H., Baensch, W. u.a.: Lehrbuch der Röntgendiagnostik, Stuttgart 1952
- 74) Schmeing, K.: Der Sinn der Reifungsstufen. Leipzig 1950

- 75) Schmid, F.: Die Handskelettossifikation als Indikator der Entwicklung. *Erg. inn. Med.* 1, 176 (1949)
- 76) derselbe und Weber G.: Röntgendiagnostik im Kindesalter. München 1955
- 77) Schmidt-Voigt, J.: Der gegenwärtige Eintritt und die Akzeleration der Pubertätsentwicklung bei der männlichen Jugend einer Grosstadt. *Zschr. f. Kh.* 61, 548 (1940)
- 78) derselbe: Das Körperbild im Reifungsalter. *Erg. inn. Med. u. Kh.* 64, 995 (1945)
- 79) derselbe: *Zschr. Kh.* 65, 394 (1948)
- 80) Scholz, E.: *Zschr. Kh.* 79, 94 (1957)
- 81) Schwenk, A. und Schwenk, E.: 17-Keto-Steroidausscheidung bei Jungen und Mädchen des Pubertätsalters in Abhängigkeit vom Reifestand. *Zschr. Kh.* 71, 570 u. 580 (1952)
- 82) Schwenk, A. und Ohndorf, H.: Untersuchungen zur Endokrinologie der Pubertät. *Zschr. Kh.* 79, 645 (1957)
- 83) Seckel: zit. in: Brock, J.: Biologische Daten für den Kinderarzt. Berlin-Göttingen-Heidelberg 1954
- 84) Seitz, L.: Wachstum, Geschlecht und Fortpflanzung. Berlin 1939
- 85) Siegert, F.: Atlas der normalen Ossifikation der Hand. Leipzig 1935
- 86) Sieglbauer, F.: Lehrbuch der Anatomie des Menschen. 1958
- 87) Simpson: zit. in: 46
- 88) Spalteholz, W.: Handatlas und Lehrbuch der Anatomie des Menschen. 1953
- 89) Stephan, W.: *Kinderärztl. Praxis.* 22, 312
- 90) Stettner, E.: Über die Beziehungen der Ossifikation des Handskeletts zu Alter und Längenwachstum bei gesunden und kranken Kindern von der Geburt bis zur Pubertät. *Arch. Kh. Bd.* 68, 342 (1921)
- 91) derselbe: *Arch. Kh.* 68, 439 (1921)
- 92) derselbe: *Arch. Kh.* 69, 27 (1921)

- 93) Stettner, E.: Ossifikationsstudien am Handskelett. Zschr. Kh. 51, 435 (1931)
- 94) Stifter, H.: Körpergrösse - Geschlechtsreife - geistige Leistung. Zschr. Kh. 66, 249 (1949)
- 95) Stratz, C.H.: Der Körper des Kindes. Stuttgart 1903
- 96) Stutte, H. und Reinecke, H.: Kinderärztl. Praxis. 19, 515
- 97) Talbot und Sobel: zit. 81
- 98) Theopold, W. und Zwilling, H.: Zschr. Kh. 78, 243 (1956)
- 99) Todd, T.W.: Atlas of skeletal maturation. St. Louis 1937, zit. in: 28
- 100) Tuchmann, H. und Duplessis: Chemische und physiologische Eigenschaften des STH. Med. Wschr. 79, 237 (1954)
- 101) Undeutsch, U.: Homo 2, 24
- 102) Wallgren, A.: Kinderärztl. Praxis 24, 566 (1956)
- 103) Wilkins, L.: The diagnosis and treatment of endocrine disorders in childhood and adolescence. Springfield 1950
- 104) derselbe und Cara, J.: Journ. of clin. Endocr. 14, 3 (1954)
- 105) Wolff, J.: Arch. Kh. 126, 130 (1942)
- 106) Wülfing, A.W.: Diss. Bonn 1954
- 107) Zeller, W.: in: Handbuch der jugendärztlichen Arbeitsmethoden. Leipzig 1938
- 108) derselbe: Entwicklung und Körperform der Knaben und Mädchen von 14 Jahren. Veröff. Volksges.dienst 52, H.10 (1939)
- 109) derselbe: Konstitution und Entwicklung. Göttingen 1952
- 110) Zimmermann: Zum Phänomen der Akzeleration. Jg. 7, S.137 (1953)

LEBENS LAUF

Alfred Schindler, geboren am 7.10.1936 in Pirmasens als Sohn des damaligen Studienassessors Dr. Karl Schindler. Seit 1938 wohnhaft in Rosenheim. 1942 bis 1946 auf der Volksschule und 1946 bis 1954 am humanistischen Gymnasium in Rosenheim. Abitur im Juni 1954. 1954 bis 1960 Medizinstudium an der Universität München, ein Semester in Innsbruck. Physikum im Februar 1957 in München, Staatsexamen im Frühjahr 1960 ebenfalls in München.



